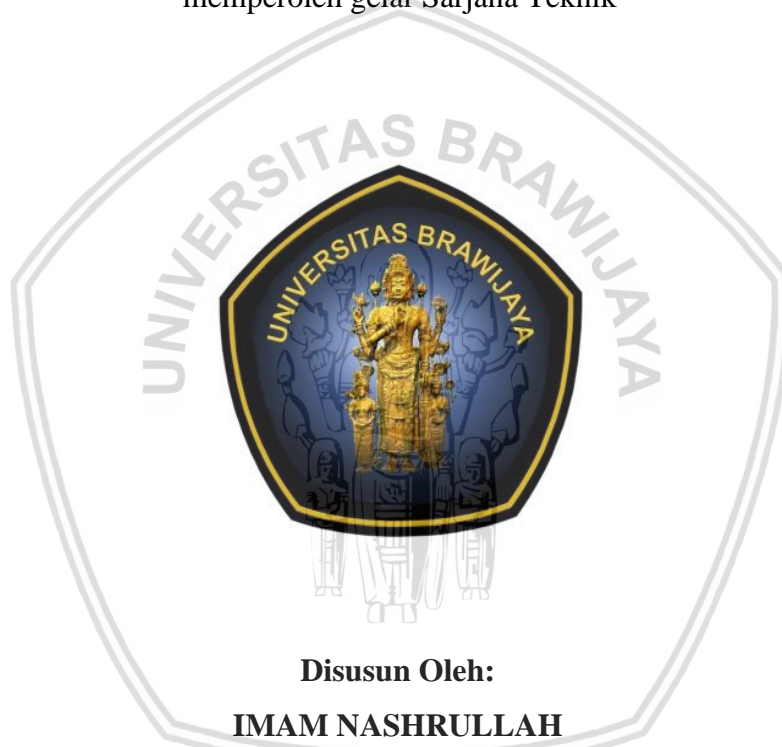


**ANALISA EROSI DAN SEDIMENTASI MENGGUNAKAN APLIKASI
MODEL AVSWAT 2000 DI DAS BAGEK KEMBAR KABUPATEN
LOMBOK BARAT PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI SISTEM INFORMASI SUMBER
DAYA AIR**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:
IMAM NASHRULLAH
NIM. 125060400111034

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA EROSI DAN SEDIMENTASI MENGGUNAKAN APLIKASI MODEL AVSWAT 2000 DI DAS BAGEK KEMBAR KABUPATEN LOMBOK BARAT PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

SKRIPSI

TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI SISTEM INFORMASI SUMBER DAYA AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

IMAM NASHRULLAH
NIM. 125060400111034

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 20 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Suwanto Marsudi, MS.
NIP. 19611203 198603 1 004

Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS.
NIP. 19610131 198609 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Pengairan

Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS.
NIP. 19610131 198609 2 001

PENGANTAR

Segala puji dan syukur penyusun panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan petunjuk serta rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan judul **“Analisa Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Aplikasi Model AVSWAT 2000 Di Das Bagek Kembar Kabupaten Lombok Barat Provinsi Nusa Tenggara Barat”**.

Laporan Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) di Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Sampai tersusunnya laporan ini, penyusun menghaturkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga saya yang sudah mendukung dalam penyelesaian laporan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Suwanto Marsudi, MS. sebagai Dosen Pembimbing saya dalam proses penyelesaian penulisan Skripsi yang telah sabar membimbing untuk memberikan arahan dan menyediakan data-data yang diperlukan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS. sebagai Dosen Pembimbing saya dalam proses penyelesaian penulisan Skripsi yang telah sabar membimbing dan memberi arahan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Runi Asmaranto, ST., MT. sebagai Dosen Penguji saya dalam proses penyelesaian penulisan Skripsi yang telah berkenan meluangkan waktu untuk memberikan masukan dan kritik.
5. Bapak Dr. Ery Suhartanto, ST., MT. sebagai Dosen Penguji saya dalam proses penyelesaian penulisan Skripsi yang telah berkenan meluangkan waktu untuk memberikan masukan dan kritik.
6. Semua Keluarga Besar Mahasiswa Pengairan yang sudah menjadi motivasi selama pengerjaan laporan Skripsi ini.

repository.ub.ac.id

Dalam penyusunan laporan Skripsi ini, penyusun menyadari segala kekurangan yang ada dalam laporan ini. Oleh karena itu penyusun mengharapkan adanya masukan-masukan baik berupa kritik atau saran guna memperbaiki laporan ini. Akhir kata penyusun berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat.

Malang, 2018

Penyusun

Imam Nashrullah
NIM. 125060400111034



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
RINGKASAN.....	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Rumusan Masalah.....	3
1.5. Tujuan dan Manfaat.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Daerah Aliran Sungai	5
2.2. Siklus Hidrologi.....	5
2.3. Analisa Hidrologi.....	6
2.3.1. Presipitasi.....	6
2.3.2. Letak Stasiun Hujan.....	7
2.3.3. Uji Konsistensi Data Hujan	7
2.3.3.1. Lengkung Massa Ganda (<i>Double Mass Curve</i>).....	7
2.3.3.2. RAPS (<i>Rescaled Adjusted Partial Sums</i>)	9
2.3.4. Hujan Rerata Daerah Metode Thiessen	10
2.4. AVSWAT 2000	10
2.4.1. Fase Pada Lahan	12
2.4.2. Fase Pada Sungai	13
2.4.3. <i>Input</i> Data AVSWAT 2000	14
2.4.4. Limpasan Permukaan.....	16
2.4.4.1. Volume Limpasan Permukaan.....	16
2.4.4.2. <i>SCS Curve Number</i>	17

2.4.4.3. <i>Soil Hydrologic Groups</i>	20
2.4.5. Debit Puncak Limpasan (Peak Runoff Rate).....	20
2.4.5.1. Waktu Konsentrasi (Time of Consentration)	21
2.4.5.2. Koefisien Aliran	23
2.4.5.3. Intensitas Hujan	24
2.4.5.4. Modifikasi Rumus Rasional	25
2.4.6. Besarnya Erosi dan Hasil Sedimen.....	25
2.4.7. MUSLE (<i>Modified Universal Soil Loss Equation</i>)	26
2.4.7.1. Faktor Erodibilitas Tanah.....	26
2.4.7.2. Faktor Pengelolaan Tanaman (<i>Cover and Management</i> <i>Factor</i>) (C)	28
2.4.7.3. Faktor Pengelolaan dan Konservasi Tanah (<i>Support</i> <i>Practice Factor</i>) (P)	30
2.4.7.4. Faktor Topografi Panjang Lereng (L) dan Kemiringan Lereng (S).....	31
2.4.7.5. Faktor Pecahan Batu Kasar (<i>Coarse Fragment Factor</i>)	32
2.4.8. Hasil Sedimen (<i>Sediment Yield</i>)	32
2.4.8.1. Transportasi Sedimen	32
2.5. Teori dalam AVSWAT 2000	34
2.5.1. <i>Automatic Deliniation</i>	34
2.5.2. <i>Land Use and Soil Definition</i>	35
2.5.3. <i>HRU Distribution</i>	35
2.6. Hasil Simulasi Program AVSWAT 2000.....	35
2.7. Kalibrasi AVSWAT 2000	36
2.8. Uji Homogenitas Data	41
2.8.1. Uji Z.....	41
2.8.2. Uji T.....	42
2.9. Erosi Yang Diperbolehkan	44
2.10. Indeks Bahaya Erosi.....	44
2.11. Bangunan Pengendali Sedimen (<i>Check Dam</i>).....	45
2.11.1. Tata Letak Pengendali Sedimen	46
2.11.2. Bentuk dan Tipe Bangunan Pengendali Sedimen (<i>Check Dam</i>)	46
2.11.3. Bagian Bangunan Pengendali Sedimen (<i>Check Dam</i>)	47
2.11.4. Kapasitas <i>Check Dam</i>	56

BAB III METODOLOGI STUDI

3.1. Lokasi Studi	57
3.2. Sistematika Pengerjaan Studi	67
3.2.1. Pengumpulan Data-Data	67
3.2.2. Langkah-langkah Penyelesaian Studi	67

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Batas DAS dan Pembuatan DEM AVSWAT 2000	73
4.2. Pengolahan Data Hujan	77
4.2.1. Uji Konsistensi Data Hujan	78
4.2.1.1. Lengkung Massa Ganda (Double Mass Curve)	78
4.2.1.2. RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums)	81
4.2.2. Hujan Rerata Daerah	82
4.2.3. Pengolahan Data Hujan untuk Input Data AVSWAT 2000	85
4.3. Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah	89
4.3.1. Kondisi Sebaran Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah	89
4.3.2. Pengolahan Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah	97
4.3.3. Penentuan Klasifikasi Tanah dan Curve Number	99
4.3.4. Angka Kekasaran Manning di Lahan dan Sungai	100
4.4. Pengolahan HRU (Hydrologic Response Unit)	101
4.5. Pengolahan Data Stasiun Cuaca	102
4.6. Running Simulation	104
4.7. Hasil Simulasi	105
4.8. Teknik Kalibrasi	107
4.8.1. Uji Homogenitas Data	116
4.8.1.1. Uji Z	116
4.8.1.2. Uji T	117
4.9. Analisa Indeks Bahaya Erosi	119
4.10. Bangunan Pengendali Sedimen (Check Dam)	125
4.10.1. Letak Bangunan Pengendali Sedimen	125
4.10.2. Tipe dan Dimensi Bangunan Pengendali Sedimen	129
4.10.2.1. Perhitungan Dimensi Bangunan Pengendali Sedimen (Check Dam 1)	129
4.10.2.2. Perhitungan Dimensi Bangunan Pengendali Sedimen (Check Dam 2)	136

4.10.3. Volume Tampungang Bangunan Pengendali Sedimen	144
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	147
5.2. Saran	148
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai Kritis Q dan R.....	9
Tabel 2.2	Perbandingan Siklus Hidologi dengan Pola Data SWAT	15
Tabel 2.3	Bilangan Kurva Air Larian (CN) Untuk Kondisi Hujan Awal II Pada Tanah Pertanian Yang Ditanami (<i>SCS Engineering Division</i> , 1986).....	18
Tabel 2.4	Bilangan Kurva Air Larian (CN) untuk Kondisi Hujan Awal II Pada Tanah Pertanian Yang Lain (<i>SCS Engineering Division</i> , 1986).....	19
Tabel 2.5	Kelompok Tanah Menurut NRCS	20
Tabel 2.6	Angka Kekasaran <i>Manning</i> (N) Untuk Aliran Di Lahan (Engman,1983).....	22
Tabel 2.7	Klasifikasi Struktur Tanah.....	27
Tabel 2.8	Klasifikasi Ukuran Partikel Struktur Tanah	28
Tabel 2.9	Klasifikasi Permeabilitas	28
Tabel 2.10	Nilai C Untuk Berbagai Jenis Tanaman dan Pengolahan Tanaman	29
Tabel 2.11	Nilai Faktor P Pada Berbagai Aktifitas Konservasi Tanah	31
Tabel 2.12	Distribusi Normal	42
Tabel 2.13	<i>Distribusi Student's T</i>	43
Tabel 2.14	Pedoman Penetapan Nilai T berdasarkan Arsyad.....	44
Tabel 2.15	Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi.....	45
Tabel 2.16	Tinggi Jagaan pada Peluap	48
Tabel 2.17	Hitungan Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Bendung Pengendali Dasar Sungai < 15 Meter (Kondisi Biasa Dan Banjir)	52
Tabel 2.18	Angka Keamanan Terhadap Geser Yang Disarankan	54
Tabel 2.19	Nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi	55
Tabel 2.20	Berat Jenis Rata-rata dan Kisarannya Pada Berbagai Tekstur Tanah.....	56
Tabel 4.1	Lokasi Stasiun Hujan di DAS Bagek Kembar.....	78
Tabel 4.2	Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Keru	79
Tabel 4.3	Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Narmada.....	79
Tabel 4.4	Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Sesaot.....	80

Tabel 4.5	Uji Konsistensi Data Metode RAPS Stasiun Keru.....	81
Tabel 4.6	Uji Konsistensi Data Metode RAPS Stasiun Sesaot	81
Tabel 4.7	Uji Konsistensi Data Metode RAPS Stasiun Narmada	82
Tabel 4.8	Bobot Poligon Thiessen Pada Masing-masing Stasiun Hujan	82
Tabel 4.9	Contoh Perhitungan Susunan Data Hujan Bulanan pada Bulan Januari Stasiun Sesaot.....	87
Tabel 4.10	Input Pengolahan Data Hujan Stasiun Sesaot	89
Tabel 4.11	Input Pengolahan Data Hujan Stasiun Keru.....	89
Tabel 4.12	Input Pengolahan Data Hujan Stasiun Narmada	89
Tabel 4.13	Sebaran Tata Guna Lahan DAS Bagek Kembar Tahun 2006	89
Tabel 4.14	Sebaran Tata Guna Lahan DAS Bagek Kembar Tahun 2009	90
Tabel 4.15	Sebaran Jenis Tanah DAS Bagek Kembar	90
Tabel 4.16	Contoh Data (*.dbf) Peta Tata Guna Lahan	97
Tabel 4.17	Contoh Data (*.dbf) Peta Jenis Tanah.....	97
Tabel 4.18	Data Jenis Tanah DAS Bagek Kembar dan Nilai K.....	99
Tabel 4.19	Data Tata Guna Lahan Eksisting DAS Bagek Kembar.....	99
Tabel 4.20	Nilai CN II untuk Masing-Masing Penutup Lahan	100
Tabel 4.21	Kelompok Tanah menurut Jenis Tanah.....	100
Tabel 4.22	Angka Kekasaran Manning untuk Aliran di Sungai	101
Tabel 4.23	Angka Kekasaran Manning untuk Aliran di Lahan.....	101
Tabel 4.24	Contoh Format Data Lokasi Stasiun Hujan Harian	103
Tabel 4.25	Contoh Format Data Hujan Harian Stasiun Sesaot (SESA).....	103
Tabel 4.26	Contoh Format Data Lokasi Stasiun Temperatur Harian.....	104
Tabel 4.27	Contoh Format Data Temperatur Harian Stasiun Sesaot (SEST)	104
Tabel 4.28	Contoh Format Data Lokasi Stasiun Cuaca untuk Simulasi	104
Tabel 4.29	Rekapitulasi Hasil Laju Erosi Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2006	105
Tabel 4.30	Rekapitulasi Hasil Sedimen Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2006	106
Tabel 4.31	Rekapitulasi Hasil Laju Erosi Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009	106
Tabel 4.32	Rekapitulasi Hasil Sedimen Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009	107
Tabel 4.33	Sebaran Tata Guna Lahan <i>Outlet</i> Sub DAS 8 (Model) dan AWLR	108

Tabel 4.34 Sebaran Jenis Tanah <i>Outlet</i> Sub DAS 8 (Model) dan AWLR.....	108
Tabel 4.35 Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2008 Sebelum Kalibrasi	113
Tabel 4.36 Parameter Berpengaruh AVSWAT 2000	115
Tabel 4.37 Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2008 Setelah Kalibrasi	115
Tabel 4.38 Kesalahan Relatif Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2000 sampai 2009 Setelah Kalibrasi.....	116
Tabel 4.39 Uji Z Hasil Model AVSWAT dan Debit Terukur	116
Tabel 4.40 Uji T Hasil Model AVSWAT dan Debit Terukur	117
Tabel 4.41 Rekapitulasi Hasil Laju Erosi Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 Setelah Kalibrasi.....	118
Tabel 4.42 Rekapitulasi Hasil Sedimen Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 Setelah Kalibrasi.....	118
Tabel 4.43 Rekapitulasi Nilai T.....	119
Tabel 4.44 Nilai Indeks Bahaya Erosi Sub DAS	120
Tabel 4.45 Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi Hasil Analisis Sub DAS	120
Tabel 4.46 Perhitungan Momen <i>Check Dam</i> 1.....	135
Tabel 4.47 Perhitungan Momen <i>Check Dam</i> 2.....	142
Tabel 4.48 Rekapitulasi Dimensi <i>Check Dam</i>	143
Tabel 4.49 Hasil Volume Sedimen Subdas 12	145
Tabel 4.50 Hasil Volume Sedimen Subdas 14	145

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Siklus Hidologi	6
Gambar 2.2	Lengkung Massa Ganda.....	8
Gambar 2.3	Model struktur data dalam AVSWAT	11
Gambar 2.4	Grafik Hubungan Limpasan Permukaan dengan Curah Hujan Pada Metode <i>SCS Curve Number</i>	18
Gambar 2.5	Langkah-langkah Proses Kalibrasi pada AVSWAT 2000	37
Gambar 2.6	Tampilan Menu <i>Calibration Tool</i>	38
Gambar 2.7	Tampilan <i>Calibration Set Up</i>	38
Gambar 2.8	Tampilan SWAT <i>Input</i> Parameter	38
Gambar 2.9	Tampilan <i>Set Up for This Scenario</i>	39
Gambar 2.10	Tampilan Simulasi Telah Berhasil.....	41
Gambar 2.11	Lokasi Lokasi Bangunan Pengendali Sedimen.....	46
Gambar 2.12	Bagian-bagian Bangunan Dam Pengendali Sedimen	47
Gambar 2.13	Potongan Melintang Pelimpah.....	48
Gambar 2.14	Notasi Pada Bendung Utama, Kolam Olak, dan Subdam.....	51
Gambar 2.15	Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Tubuh Bendung	52
Gambar 2.16	Tampungan Sedimen Pada <i>Check Dam</i>	56
Gambar 3.1	Peta Administrasi Kabupaten Lombok Barat	59
Gambar 3.2	Peta DAS Bagek Kembar.....	61
Gambar 3.3	Peta Lokasi PLTGU Lombok Peaker	63
Gambar 3.4	Peta Letak Stasiun Hujan	65
Gambar 3.5	Diagram Alir Penyelesaian Perhitungan Limpasan, Debit Limpasan, Erosi, Sedimentasi Menggunakan Model AVSWAT 2000	71
Gambar 3.6	Diagram Alir Penyelesaian Skripsi.....	72
Gambar 4.1	Tampilan Peta Kontur DAS Bagek Kembar.....	73
Gambar 4.2	Tampilan Proses Editing	74
Gambar 4.3	Tampilan <i>CAD2Shape</i>	74
Gambar 4.4	Tampilan DEM dalam Format TIN	75

Gambar 4.5	Tampilan DEM dalam Format Grid	75
Gambar 4.6	Tampilan Hasil Pendefinisian Sungai dan <i>Outlet</i>	76
Gambar 4.7	Tampilan Hasil Pendefinisian Batas DAS dan Sub DAS	77
Gambar 4.8	Grafik Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Keru	79
Gambar 4.9	Grafik Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Narmada.....	80
Gambar 4.10	Grafik Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Sesaot	80
Gambar 4.11	Peta Daerah Pengaruh Poligon Thiessen	83
Gambar 4.13	Sebaran Tata Guna Lahan DAS Bagek Kembar tahun 2006.....	91
Gambar 4.14	Sebaran Tata Guna Lahan DAS Bagek Kembar tahun 2009.....	93
Gambar 4.15	Sebaran Jenis Tanah DAS Bagek Kembar	95
Gambar 4.16	<i>Land cover/plant growth database</i>	98
Gambar 4.17	<i>User soils database</i>	98
Gambar 4.18	<i>HRU Distribution (dominant)</i>	102
Gambar 4.19	<i>HRU Distribution (multiple)</i>	102
Gambar 4.20	<i>Input wether station</i>	103
Gambar 4.21	<i>Set Up Running</i> SWAT periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009.....	105
Gambar 4.22	Sebaran Tata Guna Lahan <i>Outlet</i> Sub DAS 8 (Model) dan AWLR.....	109
Gambar 4.23	Sebaran Jenis Tanah <i>Outlet</i> Sub DAS 8 (Model) dan AWLR	111
Gambar 4.24	Grafik Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2008 Sebelum Kalibrasi.....	113
Gambar 4.25	Grafik Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2008 Setelah Kalibrasi.....	115
Gambar 4.26	Peta Sebaran Erosi dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009 DAS Bagek Kembar	121
Gambar 4.27	Peta Sebaran Sedimen dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009 DAS Bagek Kembar	123
Gambar 4.28	Lokasi-lokasi Bangunan Pengendali Sedimen	125
Gambar 4.29	Peta Lokasi Bangunan Pengendali Sedimen DAS Bagek Kembar	127
Gambar 4.30	Potongan Memanjang Bangunan <i>Check Dam</i>	129
Gambar 4.31	Lebar Peluap Bangunan <i>Check Dam 1</i>	130

Gambar 4.32	Notasi Pada Bendung Utama (<i>Check Dam 1</i>).....	131
Gambar 4.33	Notasi Pada Bendung Utama, Kolam Olak, Dan Subdam (<i>Check Dam 1</i>)	132
Gambar 4.34	Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Tubuh Bendung (<i>Check Dam 1</i>).....	134
Gambar 4.35	Lebar Peluap Bangunan <i>Check Dam 2</i>	137
Gambar 4.36	Notasi Pada Bendung Utama (<i>Check Dam 2</i>).....	138
Gambar 4.37	Notasi Pada Bendung Utama, Kolam Olak, Dan Subdam (<i>Check Dam 2</i>)	139
Gambar 4.38	Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Tubuh Bendung (<i>Check Dam 2</i>).....	141
Gambar 4.39	Tampungan Sedimen Pada <i>Check Dam</i>	144



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Curah Hujan	151
Lampiran 2	Kalibrasi	167
Lampiran 3	<i>HRU Output File (.Sbs)</i>	175
Lampiran 4	Main Channel Output File (.Rch)	185
Lampiran 5	Hidrologi	189



RINGKASAN

Imam Nashrullah, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018. *Analisa Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Aplikasi Model Avswat 2000 Di Das Bagek Kembar Kabupaten Lombok Barat Provinsi Nusa Tenggara Barat*, Dosen Pembimbing : Ir. Suwanto Marsudi, MS. dan Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS.

Di muara sungai Bagek Kembar akan dibangun PLTGU Lombok Peaker 130-150 MW yaitu di Desa Batu Layar, Kecamatan Ampenan, Kabupaten Lombok Barat, Propinsi Nusa Tenggara Barat. Dalam upaya melindungi dan menjaga kelestarian bangunan PLTGU Lombok Peaker serta menjaga kelestarian DAS Bagek Kembar, dilakukan analisa untuk memprediksi erosi dan sedimentasi pada DAS Bagek Kembar, termasuk di dalamnya jenis tanah dan tata guna lahan. Analisa erosi dan sedimentasi di DAS Bagek Kembar ini menjadi pendekatan hasil besar sedimen yang akan bermuara di muara Sungai Bagek Kembar.

Analisa ini akan mengkaji hasil erosi dan sedimentasi di DAS Bagek Kembar dengan menggunakan aplikasi model AVSWAT (*Arc View Soil And Water Assessment Tool*) 2000. Parameter-parameter dari DAS Bagek Kembar selama 10 tahun akan digunakan untuk menghitung hasil erosi dan sedimentasi pada DAS Bagek Kembar. Hasil erosi setiap subdas dapat digunakan untuk menganalisa besarnya Indeks Bahaya Erosi (IBE) pada setiap subdas. Hasil dari besarnya Indeks Bahaya Erosi (IBE) akan digunakan sebagai letak penentuan bangunan pengendali sedimen.

Hasil perhitungan menggunakan AVSWAT 2000 mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2009 didapatkan nilai laju erosi rata-rata pada DAS Bagek kembar adalah sebesar 58.48 ton/ha/th dan hasil sedimen rata-rata sebesar 14.96 ton/ha/th atau 1.25 mm/th. Lokasi bangunan pengendali sedimen yang pertama (*check dam 1*) berada pada hilir subdas 12 dengan nilai IBE sangat tinggi, sedangkan lokasi bangunan pengendali sedimen yang kedua (*check dam 2*) berada pada hilir subdas 14 dengan nilai IBE sangat tinggi. Volume tampungan *check dam 1* adalah sebesar 7783.78 m³ diharapkan dapat mengontrol laju sedimentasi sebesar 124% dari potensi laju sedimentasi normal. Sedangkan volume tampungan *check dam 2* adalah sebesar 17142.86 m³ diharapkan dapat mengontrol laju sedimentasi sebesar 243% dari potensi laju sedimentasi normal.

Kata Kunci : AVSWAT 2000, DAS Bagek Kembar, erosi, sedimentasi, *check dam*

SUMMARY

Imam Nashrullah, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018. *Erosion and Sedimentation Analysis Using The Application Of AVSWAT 2000 Model in The Bagek Kembar's Watershed West Lombok Regency Nusa Tenggara Barat Province*, Academic Supervisor : Ir. Suwanto Marsudi, MS. and Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS.

At the estuary of the Bagek Kembar River will be built PLTGU Lombok peaker 130-150 MW that is in the Village of Batu Layar, Ampenan District, West Lombok Regency, Nusa Tenggara Barat Province. In an effort to protect and maintain the sustainability of the building of PLTGU lombok peaker as well as maintaining the conservation Bagek Kembar's Watershed, an analysis was conducted to predict the erosion and sedimentation in Bagek Kembar's Watershed, including the type of soil and land use. Analysis of erosion and sedimentation in the Bagek Kembar's Watershed into a large yield approach of sediment that will lead to the estuary of the Bagek Kembar River.

This analysis will examine the results of erosion and sedimentation in Bagek Kembar's Watershed by using the application of the model AVSWAT (Arc View Soil and Water Assessment Tool) 2000. The parameters of the Bagek Kembar's Watershed for 10 years will be used to calculate the erosion and sedimentation results in Bagek Kembar's Watershed. Erosion results of each sub-watershed can be used to analyze the size of the Indeks Bahaya Erosi (IBE) on each sub-watershed. The result of the size of the Indeks Bahaya Erosi (IBE) will be used as the location of the check dam.

Calculation using AVSWAT 2000 from 2000 to 2009 was conducted to obtain the results of the average erosion rate on Bagek Kembar's Watershed is 58,48 tons / ha / yr and the average sediment yield is 14,96 tons / ha / yr or 1.25 mm / year. The location of the first check dam is located at downstream sub-watershed 10 with the value of IBE very high, whereas the location of the second check dam is located at downstream sub-watershed 14 with the value of IBE very high. The volume of the first check dam is 7783.78 m³ and expected to control the sedimentation rate by 124% of the potential of normal sedimentation rate. While the volume of second check dam is 17142.86 m³ and expected to control sedimentation rate by 243% from the potential of normal sedimentation rate.

Keywords : AVSWAT 2000, Bagek Kembar's Watershed, erosion, sedimentation, check dam

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah yang berfungsi sebagai daerah resapan, daerah penyimpanan air, penampung air hujan dan pengaliran air. Yaitu daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yaitu merupakan tempat tertinggi (punggung bukit) sehingga air hujan yang jatuh didalamnya akan selalu menuju tempat hilirnya (bagian yang lebih rendah). Wilayah DAS meliputi bagian hulu sampai hilir sungai, dan dapat berupa wilayah pemukiman, wilayah lindung, wilayah budidaya, dan lain-lain.

DAS dipengaruhi kondisi bagian hulu khususnya kondisi biofisik daerah tangkapan dan daerah resapan air yang di banyak tempat rawan terhadap ancaman gangguan manusia. Hal ini mencerminkan bahwa kelestarian DAS ditentukan oleh pola perilaku, keadaan sosial-ekonomi dan tingkat pengelolaan yang sangat erat kaitannya dengan pengaturan kelembagaan (*institutional arrangement*).

DAS di beberapa tempat di Indonesia memikul beban amat berat sehubungan dengan tingkat kepadatan penduduknya yang sangat tinggi dan pemanfaatan sumber daya alamnya yang intensif sehingga terdapat indikasi belakangan ini bahwa kondisi DAS semakin menurun dengan indikasi meningkatnya kejadian tanah longsor, erosi dan sedimentasi, banjir, dan kekeringan. Disisi lain tuntutan terhadap kemampuannya dalam menunjang sistem kehidupan, baik masyarakat di bagian hulu maupun hilir demikian besarnya.

Erosi di sekitar DAS menyebabkan adanya pengendapan material/sedimen maka sering disebut dengan sedimentasi. Sedimentasi sendiri adalah proses pengangkutan dan pengendapan material tanah/ kerak bumi yang disebabkan oleh penurunan kualitas lahan. Sedimentasi dapat menyebabkan pendangkalan sungai, saluran-saluran irigasi, muara-muara sungai dibagian hilir, mengurangi umur efektif waduk, dan dapat merusak penampang sungai serta bangunan air di sepanjang sungai.

Provinsi NTB memiliki luas hutan 1.071.722,83 hektar dan 627 DAS, 145 DAS di Pulau Lombok dan 482 DAS di Pulau Sumbawa. Luas lahan kritis di DAS NTB sudah mencakup 71,59% wilayah DAS Pulau Lombok dan 70,09% wilayah DAS Pulau Sumbawa. Sehingga sebagian wilayah DAS di NTB rentan terhadap kerusakan dan

kebakaran lahan. Sedangkan, tingkat bahaya erosi daerah aliran sungai (DAS) di NTB kini sudah tergolong berat. Menyerang 85,52% wilayah DAS di Pulau Lombok dan 80,99% wilayah DAS Pulau Sumbawa.

1.2. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang sering terjadi pada DAS ialah erosi, sedimentasi, dan banjir tentu dengan permasalahan tersebut banyak hal yang dirugikan seperti kesulitan air pada daerah hilir karena banyak sedimentasi yang terjadi disana, banjir dikarenakan fungsi DAS sudah tidak bekerja dengan baik karena terjadi penumpukan sehingga memperdangkal sungai di bagian hilir dan muara.

Di muara sungai Bagek Kembar akan dibangun PLTGU Lombok Peaker 130-150 MW yaitu di Desa Batu Layar, Kecamatan Ampenan, Kabupaten Lombok Barat, Propinsi Nusa Tenggara Barat. Seiring dengan pertumbuhan pembangunan daerah khususnya pembangunan disektor industri, maka permintaan akan energi, khususnya energi listrik akan terus meningkat. Demikian juga dalam beberapa tahun ke depan dengan adanya proses transisi masyarakat pedesaan menjadi masyarakat perkotaan akan mendorong kebutuhan akan energi listrik yang akan semakin meningkat.

Dalam upaya melindungi dan menjaga kelestarian bangunan PLTGU Lombok Peaker dilakukan analisa untuk memprediksi erosi dan sedimentasi pada DAS Bagek Kembar, termasuk di dalamnya jenis tanah, tata guna lahan, dan kelerengan. Selain melestarikan bangunan PLTGU analisa tersebut digunakan untuk kelestarian DAS Bagek Kembar yang termasuk dalam wilayah Pulau Lombok yang memiliki tingkat bahaya erosi yang sangat tinggi. Analisa erosi dan sedimentasi di DAS Bagek Kembar ini menjadi pendekatan hasil besar sedimen yang akan bermuara di muara Sungai Bagek Kembar. Sedimen tersebut akan berpotensi berpengaruh terhadap bangunan PLTGU yaitu struktur *outlet* dan *inlet*. *Inlet* pengambilan air yang difungsikan untuk mendinginkan mesin uap harus terhindar dari konsentrasi sedimentasi yang tinggi, dan juga struktur *outlet*.

Analisa ini akan mengkaji besarnya limpasan, debit limpasan, erosi, dan sedimentasi di DAS Bagek Kembar dengan menggunakan aplikasi model AVSWAT (*Arc View Soil And Water Assessment Tool*) 2000 yang telah banyak digunakan pada beberapa DAS di Indonesia. Kelebihan yang dimiliki model ini adalah dalam hal membangkitkan data dan mampu mensimulasikan dalam periode yang panjang (> 50 tahun) dan kekurangannya adalah memiliki keterbatasan terhadap keakuratan hasilnya jika model diterapkan pada DAS dengan ukuran lebih kecil dari 100 km².

1.3. Batasan Masalah

Dalam bahasan studi ini diperlukan batasan-batasan masalah agar tidak menyimpang dari pokok bahasan yang akan dikaji. Berikut adalah batasan-batasan masalah yang akan dikaji:

1. Lokasi studi adalah di DAS Bagek Kembar, Kabupaten Lombok Barat, Propinsi Nusa Tenggara Barat.
2. Data hujan diambil dari wilayah DAS Bagek Kembar.
3. Analisa erosi dan sedimentasi pada DAS Bagek Kembar dengan menggunakan aplikasi model AVSWAT 2000.
4. Penentuan letak lokasi, dimensi, dan volume tampungan bangunan pengendali sedimen guna menanggulangi masalah erosi dan sedimentasi.
5. Tidak membahas tentang penyusunan dasar program AVSWAT 2000. Namun teori akan dijelaskan.
6. Tidak membahas aspek analisa dampak lingkungan, analisa ekonomi dan sosial budaya masyarakat.
7. Rumus-rumus empiris yang digunakan dalam perhitungan dianggap umum dan sudah teruji kebenarannya.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan-batasan masalah di atas, maka perumusan masalah dalam kajian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapakah besarnya erosi dan sedimentasi pada DAS Bagek Kembar dengan menggunakan aplikasi model AVSWAT 2000?
2. Bagaimana penentuan letak lokasi, dimensi, dan volume tampungan bangunan pengendali sedimen untuk menanggulangi masalah erosi dan sedimentasi?

1.5. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah :

1. Mengetahui besarnya erosi dan sedimentasi pada DAS Bagek Kembar.
2. Mengetahui penentuan letak lokasi, dimensi, dan volume tampungan bangunan pengendali sedimen untuk menanggulangi masalah erosi dan sedimentasi.

Manfaat dari studi ini adalah :

1. Menjaga kelestarian bangunan PLTGU yaitu struktur *outlet* dan *inlet* dari pengaruh erosi dan sedimentasi pada DAS Bagek Kembar.
2. Menyelesaikan masalah pengelolaan sumber daya air khususnya masalah erosi dan sedimentasi di DAS dan di dalam sungai dengan menggunakan aplikasi model AVSWAT (*Arc View Soil And Water Assessment Tool*) 2000.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai singkatan DAS adalah suatu kawasan yang dibatasi oleh titik-titik tinggi di mana air yang berasal dari air hujan yang jatuh, terkumpul dalam kawasan tersebut. Penggunaan DAS adalah menerima, menyimpan, dan mengalirkan air hujan yang jatuh melalui sungai.

Istilah Daerah Aliran Sungai (DAS) banyak digunakan oleh beberapa ahli dengan makna atau pengertian berbeda-beda, ada yang menyamakan dengan *cacthment area*, *watershed*, atau *drainage basin*. Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu wilayah kesatuan ekosistem yang dibatasi oleh pemisah topografi yang berfungsi mengumpulkan, menyimpan dan menyalurkan air beserta sedimen unsur hara dalam sistem sungai dan keluar melalui *outlet* tunggal

Air pada Daerah Aliran Sungai (DAS) ialah air yang mengalir pada suatu kawasan yang dibatasi oleh titik-titik tinggi di mana air tersebut berasal dari air hujan yang jatuh dan terkumpul dalam sistem tersebut.

2.2. Siklus Hidrologi

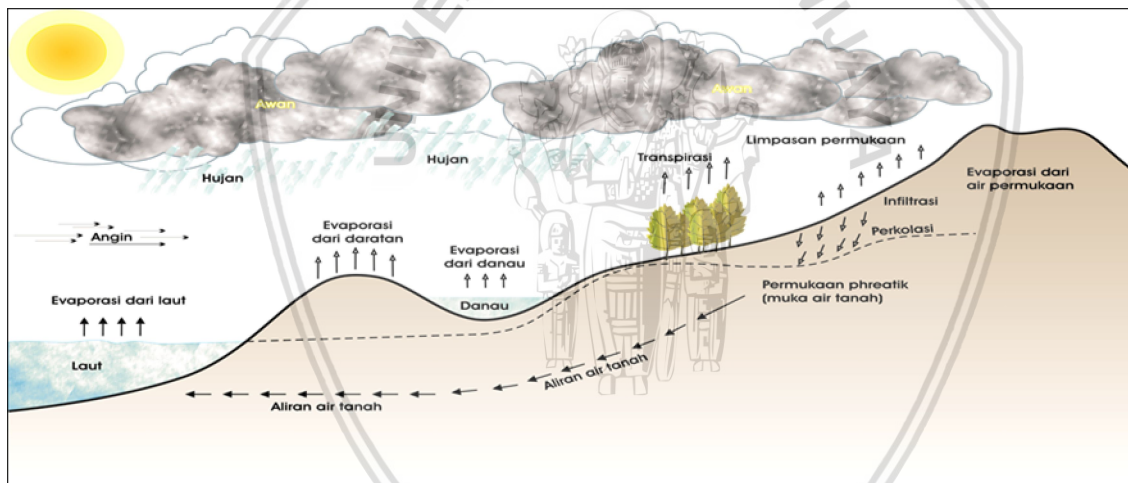
Siklus hidrologi diberi batasan sebagai tahapan-tahapan yang dilalui air dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer: evaporasi dari tanah atau laut maupun air pedalaman, kondensasi sehingga membentuk awan, presipitasi, akumulasi di dalam tanah maupun dalam tubuh air, dan evaporasi-kembali.

Presipitasi segala bentuk (salju, hujan batu es, hujan, dan lain-lain), jatuh ke atas vegetasi, batuan gundul, permukaan tanah, permukaan air dan saluran-saluran sungai (presipitasi saluran). Air yang jatuh pada vegetasi mungkin diintersepsi (yang kemudian berevaporasi dan/atau mencapai permukaan tanah dengan menetes saja maupun sebagai aliran batang) selama suatu waktu atau secara langsung jatuh pada tanah (*through fall*) khususnya pada kasus hujan dengan intensitas yang tinggi dan lama. Sebagian presipitasi berevaporasi selama perjalanannya dari atmosfer dan sebagian pada permukaan tanah. Sebagian dari presipitasi yang membasahi permukaan tanah berinfiltrasi ke dalam tanah dan bergerak menurun sebagai perkolasi ke dalam mintakat (*zone*) jenuh di bawah muka air tanah. Air ini secara perlahan berpindah melalui akifer ke saluran-saluran sungai. Beberapa air yang berinfiltrasi bergerak menuju dasar sungai tanpa mencapai muka air

tanah sebagai aliran bawah permukaan. Air yang berinfiltrasi juga memberikan kehidupan pada vegetasi sebagai lengas tanah. Beberapa dari lengas ini diambil oleh vegetasi dan transpirasi berlangsung dari stomata daun.

Setelah bagian presipitasi yang pertama yang membasahi permukaan tanah dan berinfiltrasi, suatu selaput air yang tipis dibentuk pada permukaan tanah yang disebut dengan detensi permukaan (lapis air). Selanjutnya, detensi permukaan menjadi lebih tebal (lebih dalam) dan aliran air mulai dalam bentuk laminar. Dengan bertambahnya kecepatan aliran, aliran air menjadi turbulen (deras). Air yang mengalir ini disebut limpasan permukaan. Selama perjalanannya menuju dasar sungai, bagian dari limpasan permukaan disimpan pada depresi permukaan dan disebut cadangan depresi. Akhirnya, limpasan permukaan mencapai saluran sungai dan menambah debit sungai.

Air pada sungai mungkin berevaporasi secara langsung ke atmosfer atau mengalir kembali ke dalam laut dan selanjutnya berevaporasi. Kemudian, air ini nampak kembali pada permukaan bumi sebagai presipitasi.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi
Sumber: Soemarto (1999, p.2)

2.3. Analisa Hidrologi

2.3.1. Presipitasi

Presipitasi merupakan istilah umum untuk menyatakan uap air yang mengondensasi dan jatuh dari atmosfer ke bumi dalam segala bentuknya dalam rangkaian siklus hidrologi. Jika, air yang jatuh berbentuk cair disebut hujan (*rainfall*) dan jika berupa padat disebut salju (*snow*).

Hujan merupakan faktor terpenting dalam analisis hidrologi. Analisis dan desain hidrologi tidak hanya memerlukan volume atau ketinggian hujan, tetapi juga distribusi hujan terhadap tempat dan waktu. Karakteristik hujan yang perlu ditinjau dalam analisis dan perencanaan hidrologi meliputi :

1. Intensitas i adalah laju hujan = tinggi air persatuan waktu.
2. Lama waktu (durasi) t , adalah panjang waktu di mana hujan turun dalam menit atau jam.
3. Tinggi hujan d , adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan dan dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar, dalam mm.
4. Frekuensi adalah frekuensi kejadian dan biasanya dinyatakan dengan kala ulang (return period) T .
5. Luas adalah luas geografis daerah sebaran hujan.

Hubungan antara intensitas, durasi dan tinggi hujan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$d = \int_0^t i \, dt = \sum_0^t i \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (2- 1)$$

Sedangkan intensitas rata-rata dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\bar{i} = \frac{d}{t} \quad \dots\dots\dots (2- 2)$$

2.3.2. Letak Stasiun Hujan

Stasiun hujan yang digunakan untuk menghitung curah hujan rancangan dalam analisa ini diambil stasiun hujan yang terdekat dengan lokasi dan diasumsi mempunyai karakteristik hujan dan kondisi klimatologi yang mendekati kondisi lokasi studi.

2.3.3. Uji Konsistensi Data Hujan

2.3.3.1. Lengkung Massa Ganda (*Double Mass Curve*)

Data hujan yang diambil dari berbagai stasiun hujan diuji untuk mengetahui apakah data tersebut konsisten atau tidak. Uji konsistensi merupakan uji kebenaran data lapangan yang menggambarkan keadaan sebenarnya. Di dalam suatu *array* data pengamatan hujan bisa terdapat nonhomogenitas dan ketidaksesuaian yang dapat mengakibatkan penyimpangan pada hasil perhitungan. Nonhomogenitas bisa disebabkan oleh berbagai faktor, seperti (Subarkah, 1980, p.28) :

1. Perubahan mendadak yang terjadi pada sistem lingkungan hidrologis, antara lain adanya pembangunan gedung-gedung baru, tumbuhnya pohon-pohon, gempa bumi, gunung meletus, dan lain-lain.
2. Pemindahan alat pengukur hujan.
3. Perubahan cara pengukuran, misalnya berhubungan dengan adanya alat baru atau metode baru.

○ observed data
+ corrected data

mass of checked station

10 000

A

500 5000 10000 [mm]

mass of base stations

1952 1950 beginning of records

$\text{tg } \alpha = \frac{Y}{X}$ $\frac{Y_i}{X_0}$

$\text{tg } \alpha_0 = \frac{y_0}{x_0}$

H_2 H_0 y_0 x_0

B C

Dari gambar di atas akan diperoleh garis ABC bila tidak ada perubahan terhadap lingkungan. Tetapi bila pada tahun tertentu terjadi perubahan lingkungan, maka didapat garis patah ABC'. Apabila terjadi penyimpangan (ABC'), maka dikoreksi dengan rumus (Nemec, 1973, p.179) :

BC' = data hujan hasil pengamatan (mm)

Tg o = kemiringan sebelum ada perubahan

Tg = kemiringan setelah ada perubahan

2.3.3.2. RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Metode ini ditunjukkan dengan nilai komulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata dengan persamaan berikut :

$$S_0^* = 0 : S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots (2-6)$$

Memperhatikan persamaan (2-6), maka jika $S_k^* < 0$, maka nilai S_k^* akan bernilai positif sedangkan untuk $S_k^* > 0$ nilai S_k^* akan bernilai negative.

Dengan membagi S_k^* dengan standar deviasi, diperoleh apa yang disebut '*Rescaled Adjusted Partial Sums*' (RAPS)

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{S} \dots\dots\dots (2-7)$$

dengan S adalah Standar deviasi. Statistik yang digunakan sebagai alat pengujian konsistensi adalah :

$$Q = \max_{0 < k < n} |S_k^{**}| \dots\dots\dots (2-8)$$

atau nilai *range*

$$R = \max_{0 < k < n} S_k^{**} - \min_{0 < k < n} S_k^{**} \dots\dots\dots (2-9)$$

Tabel 2.1
Nilai Kritis Q dan R

n	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$			$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.20	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.30	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.40	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

Sumber : Harto (2009, p.41)

Dengan melihat hasil nilai statistik di atas maka dapat dicari nilai Q/n hitung dan R/n hitung. Hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai ijin, apabila lebih kecil untuk tingkat kepercayaan tertentu maka data berada dalam batasan konsisten.

2.3.4. Hujan Rerata Daerah Metode Thiessen

Dalam pengembangan ilmu hidrologi, data atau informasi tentang besarnya curah hujan di suatu daerah aliran sungai (DAS) sangatlah diperlukan. Diantaranya adalah berguna dalam penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir, yang mana curah hujan digunakan yaitu curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Karena pada perhitungan hujan rata-rata, hujan yang terjadi distribusinya dianggap merata pada suatu DAS. Sehingga pada suatu daerah atau wilayah tersebut dibutuhkan beberapa alat penakar atau pencatat hujan, agar bisa didapatkan harga curah hujan rata-rata suatu daerah aliran sungai (DAS) yang akan diukur. Semakin banyak penakar hujan pada daerah atau wilayah tersebut, maka perhitungannya akan mendapatkan hasil yang semakin baik pula.

Untuk mendapatkan data hujan daerah yang akurat, maka penempatan lokasi stasiun hujan perlu direncanakan agar diperoleh luas pengaruh daerah tangkapan hujan untuk tiap-tiap stasiun relatif sama. Metode yang dapat digunakan untuk merencanakan titik lokasi stasiun hujan agar diperoleh luas daerah pengaruh yang relatif sama dapat digunakan metode Poligon Thiessen. Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Meskipun belum dapat memberikan bobot yang tepat sebagai sumbangan satu stasiun hujan untuk hujan daerah, metode ini telah memberikan nilai bobot tertentu kepada masing-masing stasiun sebagai fungsi jarak stasiun hujan.

Hujan rerata daerah untuk metode Poligon Thiessen dihitung dengan persamaan :

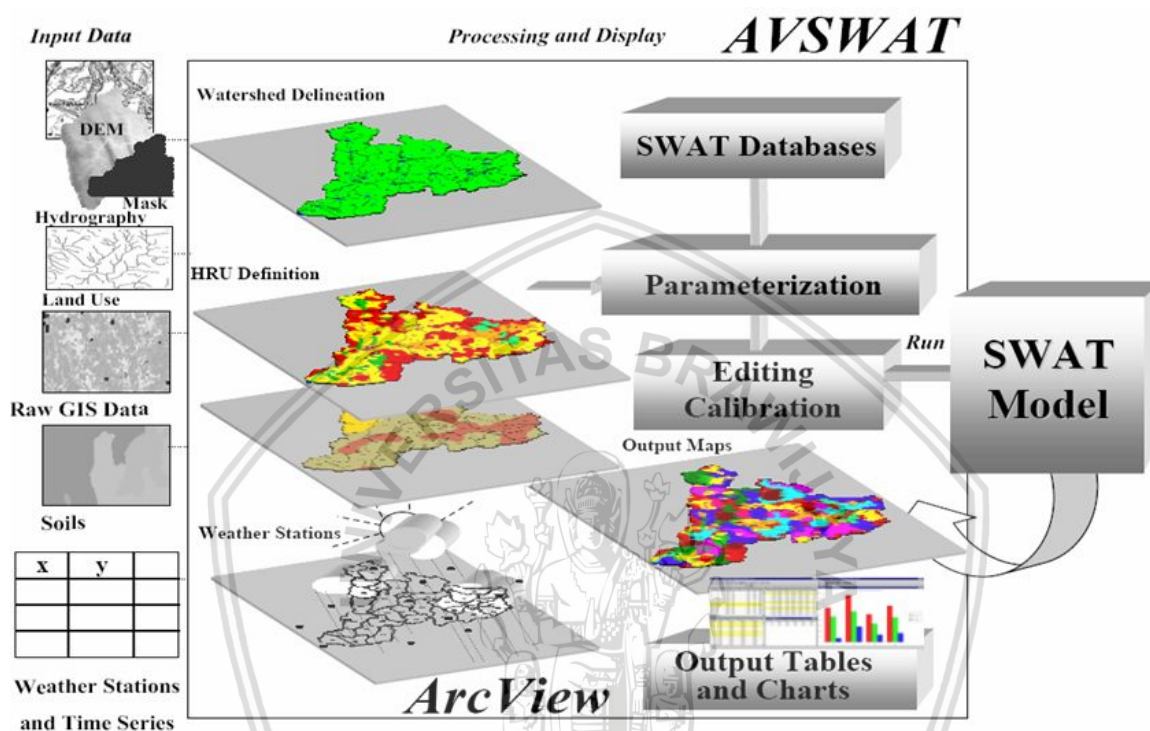
$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(2- 10)$$

dengan P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2,n. A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas poligon 1, 2,n. Sedangkan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

2.4. AVSWAT 2000

AVSWAT 2000 (*Arc View Soil and Water Assessment Tool*) adalah sebuah software yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) ArcView 3.2 atau 3.3 (ESRI) sebagai ekstensi (*graphical user interface*) di dalamnya. Program inii di keluarkan oleh Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, USA. ArcView sendiri adalah salah satu dari sekitar banyak program yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG)

AVSWAT dirancang untuk memprediksi pengaruh manajemen lahan pada aliran air, sedimen, dan lahan pertanian dalam suatu hubungan yang kompleks pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) termasuk di dalamnya jenis tanah, tata guna lahan dan manajemen kondisi lahan secara periodik. Untuk tujuan pemodelan, program AVSWAT memudahkan pengguna (*user*) dengan melakukan pembagian suatu wilayah DAS yang luas menjadi beberapa bagian sub DAS-sub DAS untuk memudahkan dalam perhitungan.



Gambar 2.3 Model struktur data dalam AVSWAT
Sumber : AVSWAT 2000 – *User's Guide* (2002, p.3)

Model AVSWAT 2000 ini, telah banyak digunakan untuk berbagai studi pengelolaan DPS yaitu diantaranya :

1. TMDL Sungai Bosque Propinsi Erath Texas, yaitu analisa tentang prediksi jumlah sedimen, nitrogen, dan unsur phospor yang akan tertampung di Waduk Waco dari berbagai sumber : pembuangan limbah dari perusahaan industri susu, limbah hasil pengolahan pertanian, daerah pemukiman/perkotaan, dengan metode perhitungannya menggunakan metode simulasi dan analisa.

2. TMDL Sungai Poteau Oklahoma Arkansas. Studi ini berisikan pekerjaan meliputi menentukan jumlah sedimen, nitrogen, phospor yang akan tertampung di Waduk Wister dan kandungan oksigen, temperatur, alga, dan CBOD pada aliran sungai. Dalam skenario perhitungannya juga meliputi besarnya hasil limbah peternakan unggas.

3. Nilai DDT di wilayah DPS Sungai Yakima, Whosington. SWAT digunakan untuk mensimulasikan kondisi eksisting dan kedepan tentang besar konsentrasi sedimen yang terkontaminasi oleh DDT di Sungai Yakima tersebut.

4. Kantor EPA urusan pestisida telah mengevaluasi dengan menggunakan model AVSWAT untuk menganalisa tingkat pemakaian Peptisida.

Model program SWAT ini dalam simulasi perhitungan tentang kejadian hidrologi maupun hidrolis pada suatu DPS, yaitu menggunakan konsep dasar kesetimbangan / *Water ballance*. Untuk tingkat keakuratan hasil : penyebaran pestisida, sedimen atau nutrient, siklus hidrologi, simulasi dari model haruslah memiliki kesesuaian dengan kondisi yang terjadi dilapangan.

Simulasi hidrologi pada suatau areal Daerah Pengaliran Sungai, secara umum dapat dibagi menjadi 2 pokok bahasan, yaitu :

1. Siklus hidrologi pada fase/tahap terjadi di satu luasan lahan, sebagai kontrol jumlah air, sedimen, nutrisi dan pestisida yang akan masuk ke sistim jaringan sungai.
2. Siklus hidrologi pada fase/tahap pada aliran sungai yang dapat didefinisikan sebagai pergerakan air, sedimen, nutrisi, dan pestisida melalui aliran sungai menuju ke *outlet* masing-masing Sub DS.

2.4.1. Fase Pada Lahan

Siklus hidrologi seperti yang disimulasikan oleh SWAT adalah menjadi dasar perumusan persamaan *Water Ballance*:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \dots\dots\dots(2- 11)$$

dengan :

SW_t = kandungan air dalam tanah (mm H₂O)

SW_0 = kandungan air dalam tanah pada awal periode (mm H₂O)

t = waktu (hari)

R = besaran hujan yang terjadi pada hari ke i (mm H₂O)

Q_{surf} = tinggi limpasan permukaan pada periode waktu ke i (mm H₂O)

E_a = besar evapotranspirasi pada periode waktu ke i (mm H₂O)

W_{seep} = jumlah air yang masuk zona lapisan tanah keras pada periode waktu ke i (mm H₂O)

W_{gw} = jumlah air pada aliran air tanah pada periode waktu ke i (mm H₂O)

2.4.2. Fase Pada Sungai

SWAT dalam menentukan kandungan air, sedimen, nutrisi dan pestisida menuju sungai, kandungan tersebut ditelusuri melalui jaringan sungai pada masing-masing Sub DPS. Pada tahap ini pencarian rotting masa pada sungai, SWAT juga memodelkan transformasi dari kimia-kimia yang terkandung dalam aliran sungai.

Routing pada sungai-sungai utama dapat dibagi menjadi 4 komponen :

1. Routing Banjir. Seperti aliran pada daerah *downstream*, besar kehilangan air yang berkaitan dengan proses evapotranspirasi dan transmisi melewati dasar sungai atau disebabkan penggunaan air sungai untuk pertanian dan kebutuhan penduduk. Jumlah air pada sungai dapat bersumber dari besaran hujan yang jatuh ke permukaan bumi mengalir kesungai dan atau bersumber dari debit-debit keluaran sumber lain. Besarnya aliran yang mengalir melewati sungai, dicari menggunakan metode *Muskingum*.

2. Sedimen Roting. Transpor sedimen sungai memiliki 2 proses yang terkandung yaitu degradasi dan deposisi. Pada model SWAT ini persamaan yang digunakan lebih simpel, yaitu nilai maksimum sedimen yang dapat terangkut dari setiap segmen sungai adalah memakai persamaan kecepatan puncak yang dapat terjadi pada sungai.

3. Nutrient Roting. Transformasi nutrient pada aliran sungai adalah dikontrol dengan komponen kualitas air pada model, yang persamaannya dengan mengadopsi dari model *QUAL2E*. Model penjararan nutrient terlarut dalam air sungai dan nutrient terkandung dalam sedimen. Larutan nutrient terangkut dengan air sementara itu yang terkandung dalam sedimen jumlahnya tetap hingga proses pengendapan sedimen pada dasar sungai.

4. Pestisida Roting. Sementara Pestisida yang nilainya dalam jumlah besar, dalam model sebagai data *input* dimasukkan pada *input* data HRU (*Hidrology Response Units*). Seperti nutrient, total pestisida yang masuk ke sungai adalah yang terlarut dan yang melekat pada material sedimen.

Sementara itu dalam studi ini, pengolahan data dan simulasi model (AVSWAT 2000) dijalankan untuk mencari :

1. Analisa Laju Limpasan Permukaan DPS-DPS dalam catchment area
2. Analisa Potensi Aliran Debit Harian Outlet DPS-DPS dalam catchment area
3. Erosi lahan DPS-DPS dalam catchment area
4. Sedimentasi DPS-DPS dalam catchment area

2.4.3. Input Data AVSWAT 2000

AVSWAT 2000 membutuhkan informasi-informasi mengenai komponen-komponen suatu DAS antara lain hujan yang terjadi di DAS, tataguna lahan, kandungan air tanah, dsb. Informasi-informasi itu dihimpun dalam basis data masukan yang dinamakan *input data*.

Input data pada AVSWAT untuk setiap sub DAS diatur menurut : data iklim dan cuaca, data *Hydrologic Response Unit* (HRU), data air tanah, dan data saluran utama. HRU adalah lahan yang dikaji pada sub DAS, termasuk di dalamnya adalah penutup lahan atau tata guna lahan, jenis tanah, dan informasi-informasi yang terdapat dalam suatu DAS.

Dalam AVSWAT data curah hujan harian selama 10 tahun dimasukkan dalam file (*.wgn) (*Weather Generation*). Dalam *Weather Generation* berisi data statistik yang dibutuhkan untuk membangkitkan data curah hujan harian dalam suatu subbasin. Idealnya data yang tersedia paling sedikit 10 tahun yang digunakan untuk menghitung parameter dalam file (*.wgn) (*Weather Generation*). Data curah hujan akan membangkitkan dalam dua hal, dimana digunakan dalam simulasi dan untuk menelusuri data yang salah.

Adapun penjelasan dalam mengolah *input data Weather Generation* adalah sebagai berikut :

1. Rata-rata total presipitasi bulanan (PCPMM)
2. Standar deviasi presipitasi bulanan (PCPSTD)
3. Kepencengan presipitasi bulanan (PCPSKW)
4. Probabilitas hari hujan terhadap hari kering (PR_W1)
5. Probabilitas hari hujan terhadap hari hujan (PR_W2)
6. Rata-rata jumlah hari hujan bulanan (PCPD)
7. Hujan maksimum bulanan (RAINHHMX)

AVSWAT 2000 dapat menyimulasikan sekian banyak proses-proses fisika dan kimia yang terjadi pada suatu DAS. *Input data-data spasial* pada AVSWAT untuk setiap sub DAS diatur menurut : data cuaca, data *Hydrologic Response Unit* (HRU), data air tanah, dan data saluran utama. HRU adalah daerah lahan yang dikaji pada sub DAS, termasuk di dalamnya adalah penutup lahan/ tata guna lahan, jenis tanah, dan informasi-informasi yang terdapat dalam suatu DAS.

Program ini menganalisis semua masalah yang terjadi pada suatu DAS dengan prinsip dasar pola keseimbangan aliran. Untuk memperkirakan pergerakan pestisida, sedimen, dan nutrisi tanaman dengan akurat. AVSWAT menyimulasikan proses-proses yang terjadi dalam siklus hidrologi, yang selanjutnya digunakan dalam pemodelan.

Simulasi hidrologi pada suatu DAS dibedakan menjadi dua fase. Pertama adalah fase penelusuran siklus hidrologi di darat (jumlah air tanah, sedimen, nutrisi, dan kandungan pestisida yang bergerak menuju aliran sungai), dan yang kedua adalah fase penelusuran siklus hidrologi aliran (pergerakan air, sedimen, dsb di dalam aliran).

Untuk memudahkan memahami pola kerja AVSWAT 2000 ini yakni dengan cara membandingkan dan memahami antara pola data yang di butuhkan oleh SWAT dengan siklus hidrologi di alam ini.

Tabel 2.2

Perbandingan Siklus Hidologi dengan Pola Data SWAT

Siklus Hidrologi	Pola Data SWAT
1. Kejadian Hujan	1. Data Hujan dan Lokasi Stasiun Hujan
2. Hujan jatuh kepermukaan bumi, sebagai aliran permukaan yang mengalir di atas permukaan dengan jenis lahan yang berbeda-bedai yaitu tataguna lahannya/ <i>land cover/land use</i> , dan jenis tanahnya. Dimana pergerakan tersebut mengalir dan menggerus material material yang dilewatinya.	2. Peta Topografi : Olahan data peta ini akan menghasilkan nilai nilai <i>slope</i> lahan/kelerengan. Dengani nilai tersebut maka dapat ditentukan arah dan besar aliran yang akan mengalir di atasnya. (ingat : besaran aliran air dipengaruhi oleh kemiringan/ <i>slope</i>)
3. Pada proses aliran permukaan juga terdapat proses lainnya yang terjadi secara bersamaan yaitu sering disebut dengan proses infiltrasi yaitu meresapnya air kedalam tanah, dan mengisi kapasitas tampung tanah hingga akhirnya kapasitas tanah tersebut mencapai tingkat jenuh, sehingga terjadi limpasan di permukaan (<i>run off</i>), pergerakan air tersebut juga akan mengisi cekungan cekungan permukaan alam yang di lewatinya.	3. Peta Tataguna Lahan : Olahan data peta ini akan menghasilkan nilai nilai konstanta penutup lahan, dimana nilai tersebut menjadii factor parameter hambatan aliran atau sering disebut sebagai angka kekasaran dapat berupa nilai <i>n</i> manning atau koefisien lahan lainnya seperti <i>CN/Curve Number</i> pada methode SCS. (ingat formula manning $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$ dimana kecepatan aliran di pengaruhi angka <i>n</i> manning)
4. Pergerakan air tersebut akan berakhir pada suatu tampungan yaitu laut dengan diawali mengalir pada jaringan jaringan sungai.	4. Peta Jenis Tanah : Olahan data peta ini akan menghasilkan nilai nilai konstanta untuki perhitungan kemampuan resapan/infiltrasi dan nilai nilai konstanta erodibilitas tanah/ kemampuan tahan terhadap erosi nilai <i>K</i> , nilai nilai kandungan tanahnya seperti sifat kimia tanah dan tekstur fisik tanah.

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Siklus Hidologi dengan Pola Data SWAT

Siklus Hidrologi	Pola Data SWAT
5. Sumber <i>inflow</i> daripada aliran yang ada di sungai adalah hujan, limpasan permukaan dan simpanan air tanah.	5. Peta Jaringan Sungai dan Dimensi Sungai
6. Semua proses pergerakan air baik itu di permukaan maupun di dalam tanah akan mengalami prosesi yang dinamakan evapotranspirasi/penguapan yaitu proses terangkatnya air dari daratan maupun tampungan ke udara. Dan pada akhirnya kembali proses hujan akibat proses kondensasi	6. Data <i>Ground Water</i> /Air Tanah
	7. Data Klimatologi (suhu, penyinaran matahari, angin) dan Lokasi Stasiun Klimatologi
	Data Tambahan
	1. Data Manajemen Lahan/PPT
	2. Data Statistik Pembangkitan Data Hidroklimatologi

2.4.4. Limpasan Permukaan

2.4.4.1. Volume Limpasan Permukaan

Menentukan besarnya volume limpasan permukaan model AVSWAT (*Arc View Soil And Water Assessment Tool*) 2000, metode yang digunakan ialah metode SCS (*Soil Conservation Service*) *Curve Number* (SCS, 1972). *The Soil Conservation Service* (1972) atau metode SCS adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai abstraksi dari curah hujan. Metode ini berasumsi bahwa rasio dari abstraksi dari curah hujan. Metode ini berasumsi bahwa rasio dari abstraksi langsung dengan simpanan air permukaan (*retention*) sama dengan rasio nilai limpasan permukaan langsung (*direct runoff*) dengan nilai potensial limpasan (*potensial runoff*). (Chow, 1988, p.147)

Metode SCS berusaha mengaitkan karakteristik DAS seperti vegetasi, tanah, tata guna lahan dengan bilangan kurva air larian CN (*runoff curve number*) yang akan menunjukkan potensi air larian untuk curah hujan tertentu (Asdak, 2004, p.182). Secara terinci perumusan metode ini adalah sebagai berikut :

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \dots\dots\dots (2- 12)$$

dengan :

Q_{surf} = Kedalaman hujan berlebih (*accumulated runoff/rainfall excess*) (mm)

I_a = Abstraksi awal (*initial abstraction*)

R_{day} = Kedalaman hujan harian (mm)

S = Volume dari total simpanan permukaan (*retention parameter*) (mm) Dimana di atas merupakan persamaan yang dipakai untuk menentukan kedalaman dari curah hujan berlebih (*depth excess rainfall*) atau limpasan permukaan.

Korelasi antara nilai I_a dengan S adalah (Chow, 1988, p.148) :

$$I_a = 0,2 S \dots\dots\dots (2- 13)$$

Untuk memudahkan perhitungan kelembaban awal (*antecedent moisture condition*), tata guna lahan, dan konservasi tanah, Dinas Konservasi Tanah Amerika menentukan besarnya S sebagai berikut :

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots (2- 14)$$

dengan :

CN = Bilangan kurva air larian, bervariasi dari hingga 100

dengan mengplotkan nilai dari R_{day} dan Q_{surf} pada kurva SCS maka nilai CN dapat ditentukan. Metode SCS mengelompokkan jenis tanah dalam 4 (empat) jenis yaitu berdasar tipe tanah dan tata guna lahannya (*hydrology soil group*).

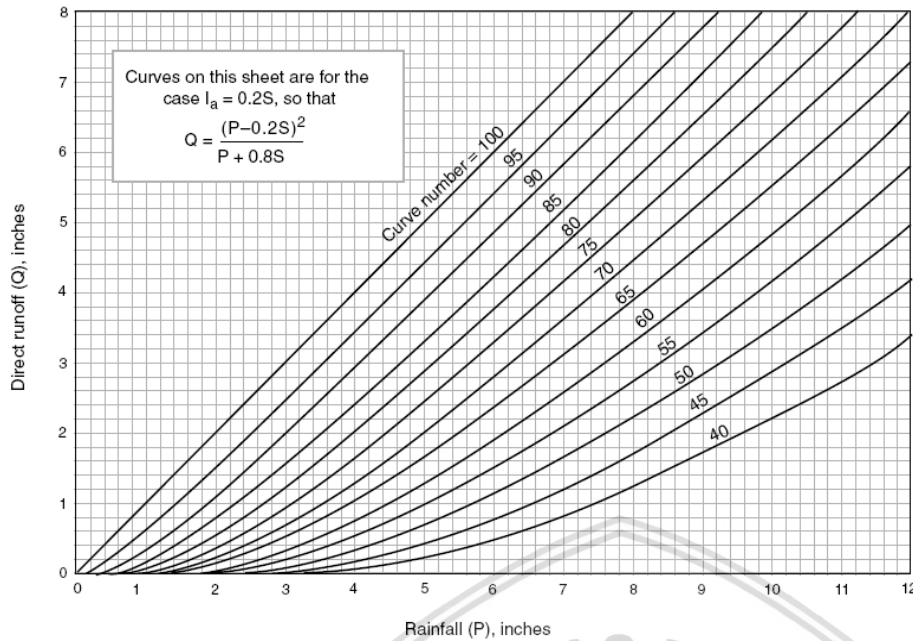
Pada abstraksi awal, I_a biasanya menggunakan pendekatan $0.2 S$

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2 S)^2}{(R_{day} + 0.8 S)} \dots\dots\dots (2- 15)$$

Limpasan permukaan akan terjadi bila $R_{day} > I_a$.

2.4.4.2. SCS Curve Number

Nilai CN pada Tabel 2.10. dan Tabel 2.11. berasal dari daerah beriklim sedang, namun demikian tabel tersebut cukup memadai untuk digunakan sebagai pengganti apabila nilai CN untuk daerah setempat belum tersedia (Asdak, 2002, p.183). Nilai CN pada tabel tersebut hanya berlaku untuk keadaan kelembaban awal II, yaitu nilai rata-rata untuk banjir tahunan. Faktor korelasi untuk keadaan kelembaban awal yang lain dapat diperoleh antara lain dalam Schwab et al. (1982).



Gambar 2.4 Grafik Hubungan Limpasan Permukaan dengan Curah Hujan Pada Metode *SCS Curve Number*

Sumber: AVSWAT *Theoretical Documentation* 2000 (2002, p.95)

Tabel 2.3

Bilangan Kurva Air Larian (CN) Untuk Kondisi Hujan Awal II Pada Tanah Pertanian Yang Ditanami (*SCS Engineering Division, 1986*)

Tata Guna Lahan	Cara bercocok tanam	Keadaan Hidrologi	Kelompok tanah			
			A	B	C	D
Tidak dikerjakan	Gundul/Kosong	-	77	86	91	94
		Buruk	76	85	90	93
		Baik	74	83	88	90
		Buruk	72	81	88	91
	0Larikan Lurus	Buruk	72	81	88	91
		Baik	67	78	85	89
	Larikan lurus ada bekas ditanami	Buruk	71	80	87	90
		Baik	64	75	82	85
	0Kontur	Buruk	70	79	84	88
		Baik	65	75	82	86
Tanaman Berjajar	Kontur ada bekas ditanami	Buruk	69	78	83	87
		Baik	64	74	81	85
	Kontur dan teras	Buruk	66	74	80	82
		Baik	62	71	78	81
	Kontur dan teras ada bekas ditanami	Buruk	65	73	79	81
		Baik	61	70	77	80
	0Larikan lurus	Buruk	65	76	84	88
		Baik	63	75	83	87
	Padi, Gandum	Buruk	64	75	83	86
		Buruk	64	75	83	86

Lanjutan Tabel 2.3 Bilangan Kurva Air Larian (CN) Untuk Kondisi Hujan Awal II Pada Tanah Pertanian Yang Ditanami (SCS Engineering Division, 1986)

Tata Guna Lahan	Cara bercocok tanam	Keadaan Hidrologi	Kelompok tanah			
			A	B	C	D
	Kontur	Baik	60	72	80	84
		Buruk	63	74	82	85
	Kontur ada bekas ditanami	Baik	61	73	81	84
		Buruk	62	73	81	84
	Kontur dan teras	Baik	60	72	80	83
		Buruk	61	72	79	82
	Kontur dan teras ada bekas ditanami	Baik	59	70	78	81
		Buruk	60	71	78	81
	OLarikan lurus	Baik	58	69	77	80
		Buruk	66	77	85	89
Tanaman Legum	OKontur	Baik	58	72	81	85
		Buruk	64	75	83	85
	Kontur dan ters	Baik	55	69	78	83
		Buruk	63	73	80	83

Sumber : AVSWAT Theoretical Documentation 2000 (2002, p.95)

Tabel 2.4

Bilangan Kurva Air Larian (CN) untuk Kondisi Hujan Awal II Pada Tanah Pertanian Yang Lain (SCS Engineering Division, 1986)

Tata guna lahan	Keadaan Hidrologi	Kelompok tanah			
		A	B	C	D
Padang rumput terus-menerus untuk tempat penggembalaan ternak	Buruk	68	79	86	89
	Cukup	49	69	79	84
	Baik	39	61	74	80
Padang rumput terlindung dari ternak, untuk dipanen		30	58	71	78
Semak-semak rerumputan dengan tumbuhan semak-semaknya yang dominan	Buruk	48	67	77	83
	Cukup	35	56	70	77
	Baik	30	48	65	73
Tanaman kayu kombinasi rumput dan perkebunan	Buruk	57	73	82	86
	Cukup	43	65	76	82
	Baik	32	58	72	79
Tegakan hutan tidak rapat	Buruk	45	66	77	83
	Cukup	36	60	73	79
	Baik	30	55	70	77
Tanah Pertanian		59	74	82	86

Sumber : AVSWAT Theoretical Documentation 2000 (2002, p.96)

2.4.4.3. Soil Hydrologic Groups

U.S Natural Resource Conservation Service (NRCS) mengklasifikasikan tanah menjadi empat kelompok hidrologi berdasarkan pada karakteristik infiltrasi tanah tersebut. NRCS Soil Survey Staff (1996) mendefinisikan setiap kelompok tanah tersebut dengan melihat kesamaan terhadap potensi limpasan permukaan pada kondisi cuaca dan tata guna lahan yang sama, sehingga tanah tersebut bisa berada pada salah satu dari kelompok A, B, C, D atau ketiga kelompok dobel A/D, B/D, dan C/D (AVSWAT Theoretical Documentation 2000, 2002, p.97). Definisi dari empat kelompok tanah tersebut tercantum pada Tabel 2.5.

Kelompok tanah rangkap diberikan untuk lahan basah tertentu yang mendapatkan cukup aliran, *initial* pertama merupakan kondisi adanya aliran air, sedangkan yang kedua merupakan kondisi tanpa aliran.

Tabel 2.5
Kelompok Tanah Menurut NRCS

Kelompok Tanah	Keterangan	Laju Infiltrasi (mm/jam)
A	Potensi air larian paling kecil, termasuk tanah pasir dalam dengan unsur debu dan liat. Laju infiltrasi tinggi	8 – 12
B	Potensi air larian kecil, tanah berpasir lebih dangkal dari A. Tekstur halus sampai sedang. Laju infiltrasi sedang.	4 – 8
C	Potensi air larian sedang, tanah dangkal dan mengandung cukup liat. Tekstur sedang sampai halus. Laju infiltrasi rendah	1 – 4
D	Potensi air larian tinggi, kebanyakan tanah liat, dangkal dengan lapisan kedap air dekat permukaan tanah. Infiltrasi paling rendah	0 - 1

Sumber : Asdak (2002, p.184)

2.4.5. Debit Puncak Limpasan (*Peak Runoff Rate*)

Debit puncak limpasan adalah aliran limpasan maksimum yang terjadi pada saat terjadinya hujan. Debit puncak limpasan merupakan indikatori dari kekuatan hujan yang digunakan untuk memprediksi besarnya sedimentasi yang terjadi. Perhitungan debit limpasan puncak menggunakan modifikasi dari metode rasional.

Metode rasional berdasarkan pada asumsi bahwa intensitas curah hujan (i) dimulai pada saat $t = 0$ dan berlangsung terus sampai dengan jangka waktu yang tidak terbatas, sehingga debit limpasan puncak akan terus meningkat samapai pada waktu kosentrasinya $t = t_{conc}$ dimana luas wilayah sud DAS akan mempengaruhi aliran sampai pada titik keluaran sub DAS (*outlet*). Persamaan rasional tersebut adalah sebagai berikut:

$$q_{peak} = \frac{C.I.Area}{3.6} \dots\dots\dots (2- 16)$$

dengan :

q_{peak} = debit puncak limpasan (*peak runoff rate*) (m³/dt)

i = intensitas hujan (mm/jam)

$Area$ = luas wilayah sub DAS (km²)

C = koefisien aliran

3.6 = faktor konversi

2.4.5.1. Waktu Konsentrasi (*Time of Consentration*)

Waktu kosentrasi adalah waktu yang dihitung dari mulai jatuhnya hujan pada suatu sub DAS sampai air tersebut mengalir ke *outlet* dari sub DAS tersebut. Waktu konsentrasi adalah waktu perjalanan yang dibutuhkan oleh air dari tempat yang paling jauh sampai ke *outlet* sungai dari sub DAS tersebut. Waktu kosentrasi dihitung dengan menjumlahkan lamanya waktu yang dilalui oleh air hujan yang jatuh disuatu titik kemudian mengalir di lahan sampai ke sungai dan akhirnya mengalir di sungai sampai ke *outlet* sungai dari sub DAS tersebut. Persamaannya sebagai berikut :

$$t_{conc} = t_{ov} + t_{ch} \dots\dots\dots (2- 17)$$

dengan :

t_{conc} = Waktu konsentrasi di sub DAS jam (jam)

t_{ov} = Waktu konsentrasi untuk aliran di lahan (jam)

t_{ch} = Waktu konsentrasi untuk aliran di sungai (jam)

Waktu konsentrasi di lahan (*overland flow time of concertration*)

$$t_{ov} = \frac{L_{slp}}{3600.V_{ov}} \dots\dots\dots (2- 18)$$

dengan :

t_{ov} = Waktu konsetrasi untuk aliran di lahan (jam)

L_{slp} = Panjang lereng di sub DAS (m)

V_{ov} = Kecepatan aliran di lahan (*overland flow velocity*) (m/dt)

3600 = Faktor konservasi (*unit conservasion factor*)

Kecepatan aliran di lahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Manning* untuk setiap 1 meter panjang sepanjang garis miring permukaan lahan :

$$V_{ov} = \frac{V_{ov,0.4}.slp^{0.3}}{n^{0.6}} \dots\dots\dots (2- 19)$$

dengan :

V_{ov} = Kecepatan aliran di lahan (*overland flow velocity*) (m/dt)

q_{ov} = Debit aliran rata-rata di lahan (*average overland flow rate*) (m³/dtk)

slp = Kemiringan rata-rata di sub DAS (m/m)

n = Angka kekasaran *manning*

Waktu konsentrasi aliran di sungai/saluran (*channel flow time of concentration*)

$$T_{ch} = \frac{l_e}{3,6 \cdot v_c} \dots\dots\dots(2- 20)$$

dengan :

t_{ch} = Waktu konsentrasi untuk aliran di sungai (jam)

L_c = Panjang rata-rata di sub DAS (km)

V_c = Kecepatan aliran di sungai (*channel flow velocity*) (m/dt)

3,6 = Faktor konservasi (*unit conversion faktor*)

Tabel 2.6

Angka Kekasaran *Manning* (N) Untuk Aliran Di Lahan (*Engman,1983*)

Karakteristik Permukaan Lahan	Median	Range
Tanah kosong, gundul-tanpa sisa tanaman	0.010	0.008-0.012
Pengolahan tanah konvensional-tanpa sisa tanaman	0.090	0.060-0.120
Pengolahan tanah konvensional-ada sisa tanaman	0.190	0.160-0.220
Pengolahan tanah dengan dibajak-tanpa sisa tanaman	0.090	0.060-0.120
Pengolahan tanah dengan dibajak-ada sisa tanaman	0.130	0.100-0.160
Tanaman musiman-ada sisa tanaman	0.400	0.300-0.500
Tanah tidak dikerjakan-tanpa sisa tanaman	0.070	0.040-0.100
Tanah tidak dikerjakan-ada sisa tanaman 0.5-1 ton/ha	0.120	0.070-0.170
Tanah tidak dikerjakan-ada sisa tanaman 2-9 ton/ha	0.300	0.170-0.470
Tanah berteras, 20 % ditanami	0.600	
Padang rumput pendek yang luas	0.150	0.100-0.200
Rumput tebal	0.240	0.170-0.300
Rumput bermuda	0.410	0.300-0.480

Sumber : Engman dalam AVSWAT *Theoretical Documentation* 2000 (2002, p.105)

Panjang rata-rata saluran dihitung dengan persamaan :

$$L_c = \sqrt{L \cdot L_{cen}} \dots\dots\dots(2- 21)$$

dengan :

L_c = Panjang rata-rata saluran di sub DAS (km)

L = Panjang saluran dari titik terjauh sampau ke *outlet* sub DAS (km)

L_{cen} = Jarak antara sepanjang saluran dengan titik tengah sub DAS (km)

Diasumsikan $L_{cen} = 0,5 L$, maka panjang rata-rata saluran di sub DAS adalah :

$$L_c = 0,71 \cdot L \dots\dots\dots (2- 22)$$

Kecepatan rata-rata dapat dihitung dengan rumus *mannig*, dengan asumsi penampang melintang saluran terbentuk trapesium, kemiringan tebing saluran 2:1, dan rasio perbandingan lebar dasar saluran dengan tinggi saluran adalah 10:1, sehingga akan di dapatkan persamaan :

$$V_c = \frac{0,489 \cdot q_{ch}^{0,25} \cdot slp_{ch}^{0,375}}{n^{0,75}} \dots\dots\dots (2- 23)$$

dengan :

V_c = Kecepatan rata-rata aliran saluran (*average channel velocity*) (m/dt)

q_{ch} = Debit rata-rata di saluran (*average channel rate*) (m³/dt)

slp_{ch} = Kemiringan saluran (m/m)

n = Koefisien kekasaran *mannig* di saluran

Untuk menghitung debit rata-rata aliran di saluran menggunakan rumus :

$$q_{ch} = \frac{q_{ch} \cdot Area}{3,6} \dots\dots\dots (2- 24)$$

dengan :

$Area$ = Luas sub DAS (km²)

q_{ch} = Debit rata-rata di saluran (mm/jam)

q_{ch} merupakan debit yang terjadi pada unit satuan luas (unit satuan luas = 1 ha),dihitung dengan persamaan :

$$q_{ch} = q_0 \cdot (100 \cdot Area)^{-0,5} \dots\dots\dots (2- 25)$$

dengan :

q_0 = Debit pada satu unit satuan luas (mm/jam)

100 = Faktor konversi

2.4.5.2. Koefisien Aliran

Angka koefisien aliran (C) merupakan bilangan perbandingani laju debit puncak dengan intensitas hujan dan merupakan bilangan tanpa satuan. Dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{Q_{surf}}{R_{day}} \dots\dots\dots (2- 26)$$

dengan :

Q_{surf} = Kedalaman hujan berlebih (*accumulated runoff/rainfall excess*) (mm)

R_{day} = Jumlah hujan pada suatu hari (mm H₂O)

2.4.5.3. Intensitas Hujan

Intensitas Hujan merupakan jumlah hujan persatuan waktu, dengan rumus:

$$i = \frac{R_{tc}}{t_{conc}} \dots\dots\dots(2- 27)$$

dengan :

i = Intensitas hujan (mm/jam)

R_{tc} = Tinggi hujan selama waktu konsentrasi (mm)

t_{conc} = Waktu konsentrasi di sub DAS (jam)

Suatu analisa data curah hujan yang dikumpulkan oleh *Hershfield* (1961) dalam jangka waktu dan frekwensi yang berbeda-beda menunjukkan bahwa jumlah hujan yang jatuh sepanjang waktu konsentrasinya sebanding dengan hujan yang jatuh selama periode 24 jam.

$$R_{tc} = t_c \cdot R_{day} \dots\dots\dots(2- 28)$$

dengan :

t_c = Fraksi curah hujan harian yang terjadi selama waktu konsentrasinya

R_{day} = Jumlah hujan yang terjadi dalam 1 hari (mm)

Untuk durasi hujan pendek, semua hujan yang jatuh sepanjang waktu konsentrasinya menyebabkan t_c mendekati batas atasnya 1. Nilai minimum t_c terjadi jika intensitas hujan yang terjadi seragam ($i_{24} = i$).

Nilai minimum ini dapat didefinisikan dengan mensubstitusikan persamaan (2-27) dan $i_{24} = i$ ke dalam persamaan (2-28) :

$$t_{c, min} = \frac{R_{tc}}{R_{day}} = \frac{i \cdot t_{conc}}{i_{24} \cdot 24} = \frac{t_{conc}}{24} \dots\dots\dots(2- 29)$$

dengan besarnya t_c adalah $t_{conc} / 24$ t_c 1,0

AVSWAT memperkirakan fraksi dari curah hujan yang terjadi dalam waktu konsentrasi tertentu sebagai fungsi fraksi dari curah hujan harian dengan waktu setengah jam dari intensitas hujan maksimumnya :

$$t_c = 1 - \exp[2 \cdot t_{conc} \cdot \ln(1 - 0.5)] \dots\dots\dots(2- 30)$$

dengan :

t_{conc} = Fraksi curah hujan harian selama waktu setengah jam dari intensitas hujan tertingginya.

0.5 = Waktu konsentrasi di sub DAS (jam)

2.4.5.4. Modifikasi Rumus Rasional

Modifikasi rumus rasional digunakan memperkirakan besar debit puncak limpasan, dengan menggunakan rumus :

$$q_{peak} = \frac{r_{tc} \cdot Q_{surf} \cdot Area}{3.6 \cdot t_{conc}} \dots\dots\dots (2-31)$$

dengan :

q_{peak} = Debit puncak limpasan (*peak runoff rate*) (m³/dt)

r_{tc} = Fraksi curah hujan harian yang terjadi selama waktu kosentrasinya

$Area$ = Luas wilayah sub DAS (km²)

t_{conc} = Waktu kosentrasi di sub DAS (jam)

3.6 = Faktor konversi

Q_{surf} = Kedalaman hujan berlebih (*accumulated runoff/rainfall excess*) (mm)

2.4.6. Besarnya Erosi dan Hasil Sedimen

Untuk memperkirakan besarnya erosi dalam analisa ini dengan menggunakan metode *MUSLE* (*Modified Universal Soil Loss Equation*). Metode *MUSLE* (*Modified Universal Soil Loss Equation*) merupakan modifikasi dari *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Williams (1995).

Metode *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*) atau Persamaan Umum Kehilangan Tanah (PUKT) dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1965, 1978) dimana pengukuran atau pengamatan dilakukan pada faktor yang akan mempengaruhi erosi, kemudian erosi dihitung dari faktor-faktor tersebut. *USLE* memperkirakan besarnya erosi rata-rata tahunan secara kasar dengan menggunakan pendekatan dari fungsi energi curah hujan, sedangkan pada metode *MUSLE* faktor energi curah hujan ini digantikan dengan faktor limpasan permukaan, sehingga besarnya perkiraan hasil sedimen menjadi lebih besar dan tidak memerlukan perhitungan nisbah pelepasan sedimen (*SDR*). Meningkatnya perkiraan hasil sedimen ini disebabkan karena faktor limpasan permukaan merupakan fungsi dari keadaan kelembaban awal. Perhitungan besarnya Nisbah Pelepasan Sedimen (*Sediment Delivery Ratio*) dianggap penting dalam menentukan perkiraan yang realistis besarnya hasil sedimen total berdasarakan perhitungan erosi total yang berlangsung di DAS dengan menggunakan metode *USLE*, karena energi dari faktor curah hujan hanya digunakan pada saat proses pelepasan sedimen saja. Perhitungan *SDR* ini tidak diperlukan dalam perhitungan perkiraan hasil sedimen dengan *MUSLE*, karena dalam faktor limpasan permukaan menghasilkan energi yang digunakan dalam proses pelepasan dan pengangkutan sedimen.

2.4.7. MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*)

Modified Universal Soil Loss Equation (Williams, 1995) adalah sebagai berikut (SWAT *Theoretical Documentation* 2000, 2002, p.216 dalam Suhartanto, 2008, p.40) :

$$sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \dots\dots\dots(2- 32)$$

dengan :

sed = hasil sedimen per hari (ton)

Q_{surf} = volume aliran limpasan permukaan (mm/ha)

q_{peak} = debit puncak limpasan (peak runoff rate) (m3/dtk)

$area_{hru}$ = luas hru (hydrologic response unit) (ha)

K_{USLE} = faktor erodibilitas tanah USLE

C_{USLE} = faktor (pengelolaan) cara bercocok tanam USLE

P_{USLE} = faktor praktek konservasi tanah (cara mekanik) USLE

LS_{USLE} = faktor topografi USLE

$CFRG$ = faktor pecahan batuan kasar

2.4.7.1. Faktor Erodibilitas Tanah

K adalah faktor erodibilitas tanah untuk horizon tanah tertentu, dan merupakan kehilangan tanah per satuan luas untuk indeks erosivitas tertentu. Faktor erodibilitas tanah (K) menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energi kinetik air hujan. Meskipun besarnya resistensi tersebut tergantung pada topografi, kemiringan lereng, dan besarnya gangguan oleh manusia, besarnya erodibilitas atau resistensi tanah juga ditentukan oleh karakteristik tanah seperti tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi, dan kandungan organik dan kimia tanah. Karakteristik tanah tersebut bersifat dinamis, selalu berubah, oleh karenanya, karakteristik tanah dapat berubah seiring dengan perubahan waktu dan tata guna lahan atau sistem pertanaman. Dengan demikian, angka erodibilitas tanah juga akan berubah. Perubahan erodibilitas tanah yang signifikan berlangsung ketika terjadi hujan karena pada waktu tersebut partikel-partikel tanah tersebut mengalami perubahan orientasi dan karakteristik bahan kimia dan fisika tanah (Asdak, 2002, p.360).

Beberapa usaha telah dilaksanakan untuk membuat model hubungan fungsional sederhana antara besarnya erodibilitas suatu jenis tanah dengan karakteristik tanah yang bersangkutan. Wischmeier et al. (1971) mengembangkan persamaan matematis yang menghubungkan karakteristik tanah dengan tingkat erodibilitas tanah sebagai berikut (SWAT *Theoretical Documentation* 2000, 2002, p.217 dalam Suhartanto, 2008, p.41) :

$$K_{USLE} = \frac{0.00021 \cdot M^{1.14} \cdot (12 - OM) + 3.25 \cdot (c_{soilstr} - 2) + 2.5 \cdot (c_{perm} - 3)}{100} \dots\dots\dots (2- 33)$$

dengan :

K_{USLE} = faktor erodibilitas tanah *USLE*

M = persentase ukuran partikel (% debu + pasir sangat halus) (100% liat)

OM = persen unsur organik

$c_{soilstr}$ = kode klasifikasi strusktur tanah (*granular, platy, massive*, dll)

c_{perm} = kelas permeabilitas tanah

Perhitungan M dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) \cdot (100 - m_c) \dots\dots\dots (2- 34)$$

dengan :

m_{silt} = persentase debu (*silt*) (diameter partikel 0.002-0.05 mm)

m_{vfs} = persentase pasir sangat halus (*very fine sand*)
(diameter partikel 0.05-0.10 mm)

M_c = persentase liat (*clay*) (diameter partikel < 0.002 mm)

OM dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$OM = 1.72 \cdot orgC \dots\dots\dots (2- 35)$$

dengan :

$orgC$ = persentase karbon organik

Pembagian kelas tanah berdasarkan kriteria ukuran partikel tanahnya dapat berbeda-beda sesuai dengan struktur tanahnya, kode yang dimaksud pada faktor $c_{soilstr}$ adalah sebagai berikut :

Tabel 2.7

Klasifikasi Struktur Tanah

Kelas	Keterangan
1	Granuler sangat halus (<i>very fine granular</i>)
2	Granuler halus (<i>fine granular</i>)
3	Granuler sedang-kasar (<i>medium or coarse granular</i>)
4	Massif kubus, lempeng (<i>blocky, platy, prismatic or massive</i>)

Sumber : Utomo (1987, p.74) (*SWAT Theoretical Documentation* 2000 (2002, p.218) dalam Suhartanto (2008, p.42))

Tabel 2.8

Klasifikasi Ukuran Partikel Struktur Tanah

Klasifikasi Ukuran	Bentuk Struktur			
	Platy	Prismatic dan Columnar	Blocky	Granular
Very fine	< 1 mm	< 10 mm	< 5 mm	< 1 mm
Fine	1-2 mm	10-20 mm	5-10 mm	1-2 mm
Medium	2-5 mm	20-50 mm	10-20 mm	2-5 mm
Coarse	5-10 mm	50-100 mm	20-50 mm	5-10 mm
Very coarse	> 10 mm	> 100 mm	> 50 mm	> 10 mm

Sumber : SWAT *Theoretical Documentation 2000* (2002, p.218) dalam Suhartanto (2008, p.42)

Tabel 2.9

Klasifikasi Permeabilitas

Kelas	Keterangan	Permeabilitas (cm/jam) (Utomo, 1987)	Permeabilitas (mm/jam) (SWAT 2000, 2003)
1	Cepat	> 12,5	> 150
2	Agak cepat	6,25 – 12,5	50-150
3	Sedang	2,00 – 6,25	15-50
4	Agak lambat	0,50 – 2,00	5-15
5	Lambat	0,125 – 0,50	1-5
6	Sangat lambat	< 0,125	< 1

Sumber : SWAT *Theoretical Documentation 2000* (2002, p.219) dalam Suhartanto (2008, p.43)

2.4.7.2. Faktor Pengelolaan Tanaman (*Cover and Management Factor*) (C)

Faktor C menunjukkan keseluruhan pengaruh dari vegetasi, seresah, kondisi permukaan tanah, dan pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang (erosi). Oleh karenanya, besarnya angka C tidak selalu sama dalam kurun waktu satu tahun. Meskipun kedudukan C dalam persamaan USLE ditentukan sebagai faktor independen, nilai sebenarnya dari faktor C ini kemungkinan besar tergantung pada faktor-faktor lain yang termasuk dalam persamaan USLE.

Faktor C adalah salah satu para meter dalam rumus USLE saat ini telah dimodifikasi untuk dapat dimanfaatkan untuk menentukan besarnya erosi di daerah berhutan atau lahan dengan dominasi vegetasi berkayu. Sembilan parameter telah ditentukan sebagai faktor yang berpengaruh untuk menentukan besarnya erosi di daerah bervegetasi kayu. Sembilan unsur tersebut adalah konsolidasi tanah, sisa tanaman, tajuk vegetasi, system perakaran, efek sisa perakaran dari kegiatan pengolahan lahan, faktor kontur, kekasaran permukaan tanah, gulma dan rumput.

Vegetasi yang tumbuh pada suatu lahan dapat bervariasi sesuai dengan pola tata tanam dan masa pertumbuhan tanaman, sehingga SWAT merubah C_{USLE} dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{USLE} = \exp\left(\left[\ln(0.8) - \ln(C_{USLE, mn})\right] \cdot \exp\left[-0.00115 \cdot rsd_{surf}\right] + \ln[C_{USLE, mn}]\right) \dots\dots\dots (2- 36)$$

dengan :

$C_{USLE, mn}$ = nilai minimum faktor pengelolaan tanaman

rsd_{surf} = jumlah *residue* (mulsa, sisa-sisa tanaman) di permukaan tanah (kg/ha)

Nilai minimum faktor pengelolaan tanaman dapat dihitung dari nilai rata-rata tahunan faktor C dengan menggunakan persamaan (Arnold and Williams, 1995) :

$$C_{USLE, mn} = 1.463 \cdot \ln[C_{USLE, aa}] + 0.1034 \dots\dots\dots (2- 37)$$

dengan :

$C_{USLE, aa}$ = Nilai rata-rata tahunan faktor C

Pada tabel di bawah ini ditunjukkan beberapa angka C yang diperoleh dari hasil penelitian Pusat Penelitian Tanah, Bogor di beberapa daerah di Jawa. Pada penelitian tersebut, pengelolaan tanaman, pemilihan bibit, pengolahan tanah, waktu tanam, dan pemeliharaannya semuanya sesuai dengan anjuran Dinas Pertanian.

Tabel 2.10
Nilai C untuk Berbagai Jenis Tanaman dan Pengolahan Tanaman

Jenis Tanaman / Tata Guna Lahan	Nilai C
Tanaman rumput (<i>Brachiaria sp.</i>)	0,290
Tanaman kacang jogo	0,161
Tanaman Gandum	0,242
Tanaman ubi kayu	0,363
Tanaman kedelai	0,399
Tanaman serai wangi	0,434
Tanaman padi lahan kering	0,560
Tanaman padi lahan basah	0,010
Tanaman jagung	0,637
Tanaman jahe, cabe	0,900
Tanaman kentang ditanam searah lereng	1,000
Tanaman kentang ditanam searah kontur	0,350
Pola tanam tumpang gilir + mulsa jerami (6ton/ha/th)	0,079
Pola tanam berurutan + mulsa sisa tanaman	0,347
Pola tanam berurutan	0,398

Lanjutan Tabel 2.10 Nilai C untuk Berbagai Jenis Tanaman dan Pengolahan Tanaman

Jenis Tanaman / Tata Guna Lahan	Nilai C
Pola tanam tumpang gilir + mulsa sisa tanaman	0,357
Kebun campuran	0,200
Ladang berpindah	0,400
Tanah kosong diolah	1,00
Tanah kosong tidak diolah	0,950
Hutan tidak terganggu	0,001
Semak tidak terganggu	0,010
Alang-alang permanen	0,020
Alang-alang dibakar	0,700
Sengon disertai semak	0,012
Sengon tidak disertai semak dan tanpa seresah	1,000
Pohon tanpa semak	0,320

Sumber : Asdak (2002, p.373)

2.4.7.3. Faktor Pengelolaan dan Konservasi Tanah (*Support Practice Factor*) (P)

Pengaruh aktivitas pengelolaan dan konservasi tanah (P) terhadap besarnya erosi dianggap berbeda dari pengaruh yang akan ditimbulkan oleh aktivitas pengelolaan tanaman (C), oleh karena itu, dalam rumus USLE faktor P tersebut bedakan dari faktor C. Tingkat erosi yang terjadi sebagai akibat pengaruh aktivitas pengelolaan dan konservasi tanah (P) bervariasi, terutama tergantung pada kemiringan lereng.

Faktor P merupakan nisbah antara tanah tererosi rata-rata dari lahan yang mendapat perlakuan konservasi tertentu terhadap tanah tererosi rata-rata dari lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab erosi yang lain diasumsikan tidak berubah. Praktek bercocok tanam yang kondusif terhadap penurunan kecepatan limpasan permukaan dan yang memberikan kecenderungan bagi limpasan permukaan untuk mengalir langsung ke tempat yang lebih rendah dapat memperkecil nilai P. Pada ladang pertanian, besarnya harga faktor P menunjukkan jenis aktivitas pengolahan tanah (pencangkulan dan persiapan tanah lainnya). Dalam pemakaian di bidang konstruksi, besarnya P menunjukkan kekasaran permukaan tanah sebagai akibat cara kerja traktor dan mesin-mesin pertanian lainnya. Besarnya faktor P yang telah berhasil ditentukan berdasarkan penelitian adalah seperti tersebut pada tabel berikut ini.

Tabel 2.11
 Nilai Faktor P pada Berbagai Aktivitas Konservasi Tanah

Teknik Konservasi Tanah	Nilai P
Teras bangku :	
a. baik	0,20
b. jelek	0,35
Teras bangku : jagung-ubi kayu/kedelai	0,06
Teras bangku : sorghum-sorghum	0,02
Teras tradisional	0,40
Teras gulud : padi-jagung	0,01
Teras gulud : ketela pohon	0,06
Teras gulud : jagung-kacang + mulsa sisa tanaman	0,01
Teras gulud : kacang kedelai	0,11
Tanaman dalam kontur :	
a. kemiringan 0-8 %	0,50
b. kemiringan 9-20 %	0,75
c. kemiringan >20 %	0,90
Tanaman dlm. jalur-jalur : jagung-kacang tanah + mulsa	0,05
Mulsa limbah jerami :	
a. 6 ton/ha/tahun	0,30
b. 3 ton/ha/tahun	0,50
c. 1 ton/ha/tahun	0,80
Tanaman perkebunan :	
a. disertai penutup tanah rapat	0,10
b. disertai penutup tanah sedang	0,50
Padang rumput :	
a. baik	0,04
b. jelek	0,40

Sumber : Asdak, (2002, p.375)

2.4.7.4. Faktor Topografi Panjang Lereng (L) dan Kemiringan Lereng (S)

Faktor indeks topografi L dan S, masing-masing akan mewakili pengaruh panjang dan kemiringan lereng terhadap besarnya erosi. Panjang lereng mengacu pada aliran air permukaan, yaitu lokasi berlangsungnya erosi dan kemungkinan terjadinya deposisi sedimen. Pada umumnya, kemiringan lereng diperlakukan sebagai faktor yang seragam.

Besarnya nilai LS (faktor topografi) dihitung dengan menggunakan rumus (SWAT *Theoretical Documentation* 2000, 2002, p.222 dalam Suhartanto, 2008, p.46) :

$$LS_{USLE} = \left(\frac{L_{hill}}{22.1} \right)^m \cdot (65.41 \cdot \sin^2(r_{hill}) + 4.56 \cdot \sin r_{hill} + 0.065) \quad \dots\dots\dots(2- 38)$$

dengan :

L_{hill} = panjang lereng (m)

m = syarat eksponensial

r_{hill} = sudut lereng

Syarat eksponensial m dihitung dengan :

$$m = 0.6 \cdot (1 - \exp[-35.835 \cdot slp]) \quad \dots\dots\dots(2- 39)$$

dengan :

slp = kemiringan lereng HRU (*Hydrologic Response Unit*)

= $\tan r_{hill}$

2.4.7.5. Faktor Pecahan Batu Kasar (*Coarse Fragment Factor*)

Faktor pecahan batuan kasar ini dihitung sebagai berikut (*AVSWAT Theoretical Documentation 2000, 2002, p.220 dalam Suhartanto, 2008, p.47*) :

$$CFRG = \exp(-0,053 \cdot rock) \quad \dots\dots\dots(2- 40)$$

dengan :

$rock$ = persentase batuan pada lapisan tanah.

2.4.8. Hasil Sedimen (*Sediment Yield*)

Sedimen merupakan hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai, dan waduk.

Hasil sedimen tergantung pada besarnya erosi total di DAS/sub-DAS dan tergantung pada transpor partikel-partikel tanah yang tererosi tersebut keluar dari daerah tangkapan air DAS/sub-DAS. Produksi sedimen umumnya mengacu kepada besarnya laju sedimen yang mengalir melewati satu titik pengamatan tertentu dalam suatu sistem DAS. Besarnya hasil sedimen biasanya bervariasi mengikuti karakteristik fisik DAS/sub-DAS.

2.4.8.1. Transportasi Sedimen

Besarnya transpor sedimen dalam aliran sungai merupakan fungsi dari suplai sedimen dan energi aliran sungai (*stream energy*).

Williams (1980) mengembangkan sebuah metode untuk menentukan degradasi sebagai fungsi dari kemiringan saluran dan kecepatan, di mana metode tersebut didefinisikan dari metode energy aliran sungai Bagnold (1977). Dimana besarnya suplai sedimen merupakan fungsi dari kecepatan aliran puncak, dengan persamaan sebagai

berikut (*SWAT Theoretical Documentation* 2000, 2002,p.368 dalam Suhartanto, 2008, p.47) :

$$v_{ch,pk} = \frac{q_{ch,pk}}{A_{ch}} \dots\dots\dots (2- 41)$$

dengan :

$q_{ch,pk}$ = debit aliran puncak (m³/dk)

A_{ch} = Luas saluran (m²)

Debit aliran puncak didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$q_{ch,pk} = prf \cdot q_{ch} \dots\dots\dots (2- 42)$$

dengan :

prf = *peak rate adjustment factor*

q_{ch} = debit aliran rata-rata (m³/dt)

Sehingga konsentrasi maksimum sedimen yang dapat diangkut dihitung dengan rumus :

$$conc_{sed,ch,mx} = c_{sp} \cdot v_{ch,pk}^{sp\ exp} \dots\dots\dots (2- 43)$$

dengan :

$conc_{sed,ch,mx}$ = konsentrasi maksimum sedimen yang terangkut (ton/m³ atau kg/L)

c_{sp} = koefisien

$sp\ exp$ = nilai eksponen (dalam kondisi normal bervariasi antara 1,0-2,0, sedangkan di dalam persamaan energi aliran sungai Bagnold bernilai 1,5)

Jika konsentrasi sedimen di dalam sungai pada suatu waktu adalah $conc_{sed,ch,i}$, dan terjadi kondisi $conc_{sed,ch,i} > conc_{sed,ch,mx}$ maka deposisi sedimen merupakan proses yang dominan terjadi pada waktu dan *section* di sungai tersebut, dan berat bersih deposisi sedimen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$sed_{dep} = (conc_{sed,ch,i} - conc_{sed,ch,mx}) \cdot V_{ch} \dots\dots\dots (2- 44)$$

dengan :

sed_{dep} = total sedimen yang terdeposisi di sungai (ton)

V_{ch} = Volume air di *section* sungai (m³)

Jika $conc_{sed,ch,i} < conc_{sed,ch,mx}$, maka akan terjadi proses degradasi di segment sungai tersebut, dimana berat bersih total sedimen dari proses degradasi dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$sed_{deg} = (conc_{sed,ch,mx} - conc_{sed,ch,i}) \cdot V_{ch} \cdot K_{CH} \cdot C_{CH} \dots\dots\dots(2- 45)$$

dengan :

sed_{deg} = total sedimen hasil degradasi di sungai (ton)

K_{CH} = faktor erodibilitas saluran (cm/jam/Pa)

C_{CH} = faktor penutup saluran

Setelah memperhitungkan total deposisi dan degradasi sedimen di sungai, maka total sedimen yang ada di sungai tersebut dapat dihitung dengan persamaan :

$$sed_{ch} = sed_{ch,i} - sed_{dep} + sed_{deg} \dots\dots\dots(2- 46)$$

dengan :

sed_{ch} = total sedimen melayang di sungai (ton)

$sed_{ch,i}$ = total sedimen melayang di sungai pada permulaan periode waktu (ton)

sed_{dep} = total sedimen yang terdeposisi di setiap *section* sungai (ton)

sed_{deg} = total sedimen hasil degradasi di setiap *section* sungai (ton)

Untuk total sedimen yang terangkut keluar dari sungai tersebut ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$sed_{out} = sed_{ch} \cdot \frac{V_{out}}{V_{ch}} \dots\dots\dots(2- 47)$$

dengan :

sed_{out} = total sedimen yang terangkut keluar sungai (ton)

V_{out} = volume *outflow* selama waktu konsentrasinya (m^3)

V_{ch} = volume air di *section* sungai tersebut (m^3)

2.5. Teori dalam AVSWAT 2000

2.5.1. Automatic Deliniation

Automatic Deliniation digunakan untuk mendapatkan sungaii sintesis dan definisi outlet yang ada pada suatu DAS. Sungai sintesis didapat dari pengolahan input data peta kontur yang sudah dikonversi dalam bentuk *grid* dengan metode *TIN (Triangulated Irregular Network)*. Di dalam menu ini terdapat perintah untuk membangkitkan sungai sintesis lengkap dengan dimensinya (panjang, lebar, kedalaman sungai) dan menentukan lokasi *outlet* secara otomatis oleh program berdasarkan percabangan anak sungai sintetis

untuk membagi DAS kedalam sub-sub DAS. Program melambangkan lokasi outlet dengan titik. Titik-titik *outlet* dapat ditentukan secara manual oleh pengguna. Pengguna dapat memodifikasi (menambah atau mengurangi) titik *outlet* bahkan menghapus titik *outlet* yang tidak dikehendaki dalam gambar. Pengguna dapat pula mendefinisikan suatu titik *outlet* sebagai *point source* (waduk/dam/bendungan), atau dapat pula juga didefinisikan sebagai *inlet*.

Untuk mempresentasikan bentuk permukaan bumi, *software AVSWAT 2000* menggunakan model DEM (*Digital Elevation Model*). DEM atau DTM (*Digital Terrain Model*) adalah salah satu metode pendekatan yang biasa dipakai untuk memodelkan relief permukaan bumi dalam bentuk 3 dimensi. Terdapat beberapa metode untuk menggambarkan bentuk permukaan bumi dalam model permukaan digital, yaitu model *grid* dalam bentuk persegi, model TIN (*Triangulated Irregular Network*) dalam bentuk segitiga yang tidak beraturan dan yang terakhir adalah CA (*Cellular Automata*) yaitu dalam bentuk segitiga, segiempat atau segienam beraturan. Dari berbagai metode yang ada, metode persegi merupakan metode yang paling banyak digunakan, hal ini dikarenakan bentuk persegi mempunyai kemudahan dalam perhitungan dan visualisasinya apabila dibandingkan dengan bentuk lainnya.

2.5.2. Land Use and Soil Definition

Dalam *Land Use & Soil Definition*, program akan mengklasifikasi dan mendefinisikan kombinasi dan distribusi penggunaan lahan dan jenis tanah dengan meng-overlay-kan peta tata guna lahan dan peta jenis tanah untuk menentukan daerah dan parameter hidrologi setiap kategori lahan-tanah yang ada pada setiap sub-sub DAS. Program ini akan meminta input data peta digital tata guna lahan dan peta jenis tanah beserta data-data spasialnya.

2.5.3. HRU Distribution

HRU (*Hydrologic Respon Unit*) digunakan untuk menghitung evapotranspirasi pada lahan di DAS. Lahan DAS yang dimaksud adalah penutup lahan/tanaman dan jenis tanah.

Pembagian DAS kedalam sub-sub DAS mengakibatkan setiap sub-sub DAS mempunyai informasi tata guna lahan dan klasifikasi tanah yang berbeda-beda. Hal ini memudahkan program untuk merefleksikan perbedaan evapotranspirasi dan kondisi-kondisi hidrologi lainnya untuk setiap tanaman/penutup lahan dan jenis tanah pada setiap subdas.

2.6. Hasil Simulasi Program AVSWAT 2000

Terdapat 3 file utama untuk *output running simulation AVSWAT* yang masing-masing mempunyai penjelasan yang berbeda-beda. File-filenya adalah :

1. *Subbasin Output File (*.BSB)*

File ini berisi tentang informasi yang ada pada masing-masing sub DAS atau juga ringkasan pada *HRU* pada setiap sub DAS. Parameter-parameter penting yang mengacu dengan studi ini adalah :

$SUR\ Q$ = Limpasan permukaan setiap sub DAS selama periode tertentu (mm).

$SYLD$ = Hasil sedimen setiap sub DAS yang tertransport selama periode tertentu (ton/ha).

2. *Main Channel Output File (*.RCH)*

File ini berisi ringkasan informasi muatan komponen-komponen DAS yang masuk dan keluar saluran. Parameter-parameter penting yang mengacu dengan studi ini adalah :

$FLOW_IN$ = Rata-rata debit perhari yang masuk selama periode tertentu (m^3/dt).

$FLOW_OUT$ = Rata-rata debit perhari yang keluar selama periode tertentu (m^3/dt).

SED_IN = Jumlah sediment yang tertransport masuk selama periode waktu tertentu (ton).

SED_OUT = Jumlah sediment yang tertransport keluar selama periode waktu tertentu (ton).

3. *HRU Output File (*.SBS)*

Parameter-parameter penting yang mengacu dengan studi ini adalah:

$SUR\ Q$ = Limpasan permukaan setiap *HRU (Hydrologic Respon Unit)* selama periode tertentu (mm).

$SYLD$ = Hasil sedimen setiap *HRU (Hydrologic Respon Unit)* yang tertransport ke saluran utama selama periode tertentu (ton/ha).

$USLE$ = Hasil erosi yang dihitung dengan rumus $USLE$ selama periode tertentu (ton/ha).

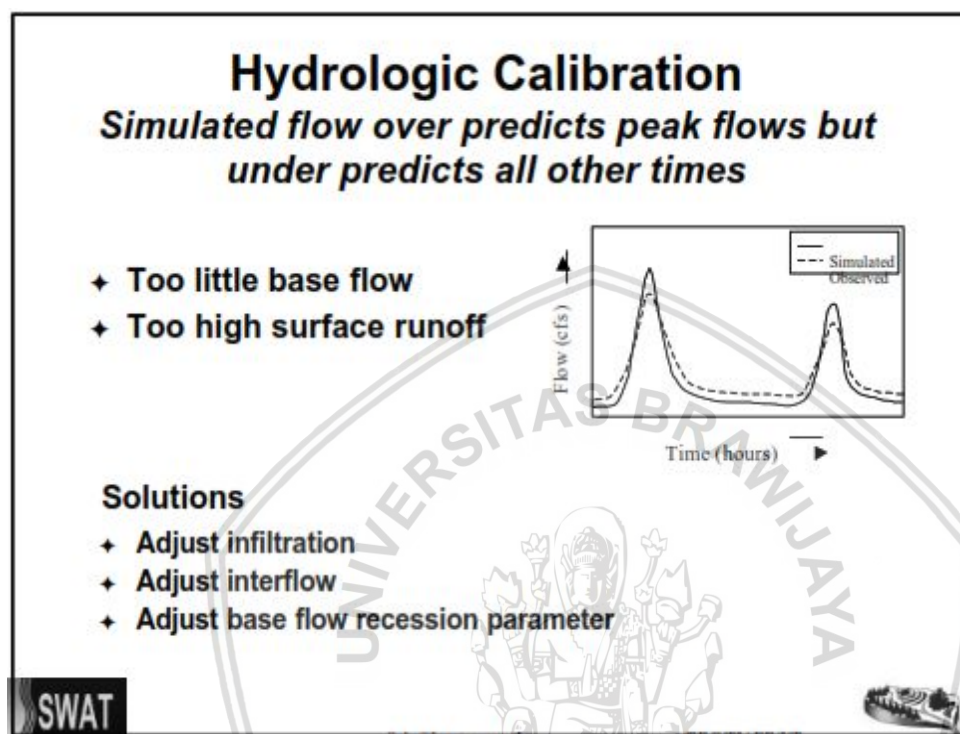
2.7. Kalibrasi AVSWAT 2000

Proses kalibrasi didalam suatu perhitungan pemodelan seperti yang dilakukan oleh AVSWAT ini sangatlah penting. Kalibrasi ini untuk melakukan proses pengecekan *output* dari AVSWAT terhadap data-data yang tersedia di lapangan. Proses kalibrasi juga digunakan mengetahui kesesuaian dari estimasi nilai parameter-parameter yang kita gunakan dengan nilai parameter yang sebenarnya di lapangan.

Dalam proses kalibrasi ini, diharapkan dapat menentukan nilai parameter-parameter dari karakteristik DAS daerah studi seperti nilai CN (*Curve Number*), GW (*Ground Water*), atau nilai *baseflow* yang akhirnya mendapatkan hasil yang paling mendekati dengan kondisi di lapangan. Parameter yang digunakan sebagai acuan dalam proses kalibrasi ini adalah nilai debit banjir pada outlet dari DAS daerah studi. Nilai debit banjir

yang biasanya kita dapatkan dari pencatatan AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) atau alat pencatat debit otomatis ini akan kita cek dengan nilai debit banjir yang dihasilkan oleh perhitungan AVSWAT. Sebaran dari kedua nilai inilah yang perlu diperhatikan. Semakin kecil sebenarnya, maka semakin baik kualitas pemodelan yang telah kita lakukan.

Teknik kalibrasi pemodelan pada AVSWAT 2000 seperti di bawah ini:



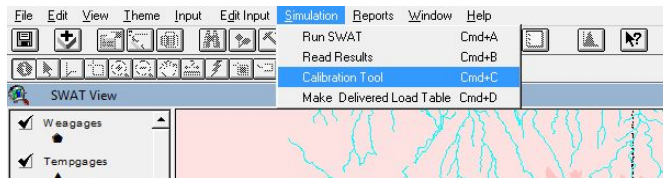
Gambar 2.5 Langkah-langkah Proses Kalibrasi pada AVSWAT 2000
 Sumber : SWAT User's Manual 2000 (2002, p.371)

Jika hasil pemodelan hidrologi (*water balance*) menunjukkan terlalu kecil *baseflow* dan terlalu besar *surface runoff*. Maka menurut teori *Hydrologic Calibration* diatas solusinya adalah:

- Melakukan coba-coba penurunan nilai CN yang berpengaruh terhadap besar nilai dari *surface runoff*.
- Melakukan coba-coba parameter dari *Ground Water* (GW) file parameter (air tanah).

Perintah yang ketiga di dalam menu *Simulation* mengijinkan pemakai untuk melaksanakan perubahan global padai input parameter yang biasanya dimodifikasi sepanjang proses kalibrasi.

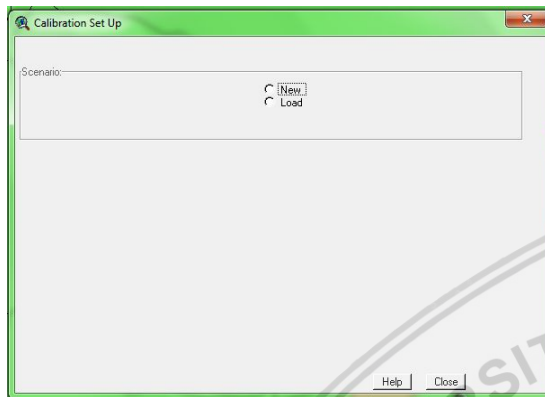
1. Pilih *calibration tool* dari menu *simulation* (atau tekan Cmd+C).



Gambar 2.6 Tampilan *Menu Calibration Tool*

Sumber : Analisa AVSWAT 2000

2. Cabiration Set Up dialog box ditampilkan



Gambar 2.7 Tampilan *Calibration Set Up*

Sumber : Analisa AVSWAT 2000

3. Pemakai boleh menciptakan suatu skenario kalibrasii baru atau memuat yang disimpan skenario. Menciptakan suatu skenario baru:

- Klik tombol *New* di dalam bagian dialog *box* yang diberi label “Skenario”.
- Ketik nama untuk skenario di dalam *teks box* yang diberi label *New Name* dengan nama skenario 1
- Tekan tombol *Enter* pada keyboard

Memuat skenario yang ada:

- Klik tombol *Load* di dalam bagian dialog *box* yang diberi label “Skenario 1”.
- Suatu daftar akan ditampilkan mempertunjukkan semua skenario yang tersedia.
- Pilih skenario yang diinginkan dari daftar.

4. Ketika skenario diciptakan atau terisi, tabel *SWAT input* parameter akan ditampilkan

Input File	Parameter	Variation %	Value	Lower Limit	Upper Limit
Crop.dat	USLE_C	0	0	0.001	0.5
Basin Input (.bsn)	SMFMX	0	0	0	10
Basin Input (.bsn)	SMFMN	0	0	0	10
Basin Input (.bsn)	SPCON	0	0	0.000	0.01
Basin Input (.bsn)	SPEXP	0	0	1	1.5
Basin Input (.bsn)	NPERCO	0	0	0	1
Basin Input (.bsn)	PPERCO	0	0	10	17.5

Gambar 2.8 Tampilan *SWAT Input* Parameter

Sumber : Analisa AVSWAT 2000

5. Tabel ini mendaftarkan 27 SWAT *input* parameter. Nama parameter dari file *input* SWAT yang terkait didaftarkan pada tabel itu. Pemakai dapat mengubah nilai dari segala parameter ini (sendiri atau kombinasi), jalankan SWAT untuk skenario, dan bandingkan hasil skenario ke original *default simulation* atau ke skenario lain.

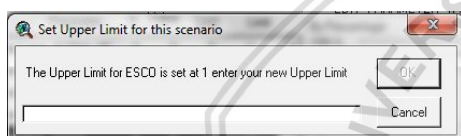
6. Pilih satu parameter di dalam tabel dengan meng-klik pada nama parameter. Bagian yang lain dari dialog *box* ditampilkan.

7. *Calibration Tool* menyediakan kepada pemakai dua pilihan untuk mengubah nilai suatu parameter dari nilai yang digambarkan pada original atau *default* skenario.

- Dengan presentase. Gunakan *slider*, pilih perubahan persen pada nilai.
- Dengan nilai. Ketik perubahan pada nilai di dalam *teks box*.

8. Pemakai dapat mengubah batas atas yang sekarang dan menurunkan batas parameter menggunakan tombol *Upper limit* dan *Lower limit*.

Ketika salah satu dari tombol ini di-klik, suatu *prompt box* ditampilkan.



Gambar 2.9 Tampilan *Set Up for This Scenario*

Sumber : Analisa AVSWAT 2000

Ketik nilai yang baru di dalam *teks box*. Klik OK untuk menutup *prompt box* dan menyimpan perubahan itu, atau klik *Cancel* untuk menutup *prompt box* tanpa menyimpan perubahan itu.

9. Perubahan di dalam nilai parameter mungkin diberlakukan bagi keseluruhan *watershed* atau hanya untuk sebagian *watershed*.

- Untuk menerapkan perubahan bagi semua sub-basins, pilih tombol yang di beri label *Apply to all sub-basins*. Untuk menerapkan perubahan hanya sebagian dari sub-basins, pilih *select sub-basins*.

Jika pemakai memutuskan untuk menerapkan perubahan hanya bagi sedikit subbasins, daftar semua subbasins di dalam *watershed* yang ditampilkan ketika tombol *select sub-basins* dipilih. *Scroll* daftar dan soroti nomor semua subbasins di mana perubahan di dalam nilai parameter yang diharapkan dibuat. Tekan tombol *Shift* untuk memilih berbagai subbasins.

- Jika parameter terpilih adalah suatu *HRU-level parameter*, pemakai dapat membatasi perubahan pada nilai parameter ke spesifik *landuses* di dalam *subbasins* yang terpilih. Untuk mengisolasi perubahan di dalam nilai parameter ke dalam *landuses* tertentu, klik *box* yang diberi judul *landuse*.

Jika *box* dicek, daftar *landuses* ditampilkan. *Scroll* daftar dan soroti *landuses* di mana perubahan di dalam nilai parameter dibuat. Tekan tombol *Shift* untuk memilih berbagai *landuses*.

10. Ketika pengaturan untuk sudah lengkap, pemakai mempunyai tiga pilihan: menyimpan pengaturan untuk parameter, keluar dari parameter *editor tool* tanpa menyimpani pengaturan, atau menghapus pengaturan yang sekarang dan menggambarkan pengaturan yang lain.

a. Untuk menyimpan pengaturan. Klik tombol *Apply* di bawah tabel parameter. Ini dekat *editing tools* untuk parameter yang spesifik dan menyimpan pengaturan.

b. Untuk keluar tanpa menyimpan. Klik tombol *Cancel Apply* di bawah tabel parameter. Ini dekat *editing tools* untuk parameter yang spesifik tanpa menyimpan pengaturan.

c. Untuk menghapus pengaturan yang sekarang. Klik tombol *Reset* di bawah tabel parameter. Ini mengatur lagi semua nilai-nilai kembali ke pengaturan yang asli.

11. Ulangi langkah 6 sampai 10 untuk semua *input* parameter yang diinginkan.

12. Ketika semua parameter modifikasi telah dibuat untuk skenario, pemakai dapat memilih ya atau tidaknya nilai parameter pada *watershed* diijinkan untuk melebihi batas cakupan setelah modifikasi parameter diterapkan. Ini yang dikendalikan oleh tombol *In Range* dan *Out Range*.

Ketika tombol *In Range* dipilih, *interface* akan menerapkan semua modifikasi parameter yang digambarkan pada skenario dan kemudian memverifikasi bahwa nilai-nilai yang baru adalah di dalam batasan cakupan untuk parameter. Jika nilai-nilai yang baru melebihi batas cakupan, mereka akan mengatur nilai terdekat yang diijinkan.

Ketika tombol *Out Range* dipilih, *inteface* akan menerapkan semua modifikasi parameter yang digambarkan pada skenario tanpa mengecek bahwa nilai-nilai yang baru adalah di dalam batas cakupan parameter.

13. Klik *OK* untuk menyimpan skenario itu.

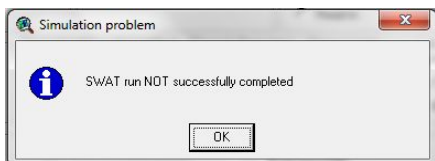
14. Suatu *prompt box* akan ditampilkan selama menyimpan.

15. Klik *No* untuk melompati pilihan ini. Klik *Yes* untuk menulis catatan. Jika pemakai meng-klik *Yes*, *teks box* ditampilkan. Masukkan catatan dan klik *Close*.

16. Ketika semua perubahan dibuat, suatu *prompt box* ditampilkan.

17. Klik *Yes* untuk menjalankan simulasi SWAT untuk skenario atau klik *No* untuk melompati pilihan ini. Jika pemakai menjalankan SWAT, salah satu dari dua *message boxes* akan ditampilkan ketika simulasi SWAT berakhir.

a. Jika simulasi diakhiri sebelum keseluruhan periode simulasi diselesaikan, suatu *message box* akan memberitahu pemakai suatu kegagalan yang dijalankan.



Gambar 2.10 Tampilan Simulasi Telah Berhasil

Sumber : Analisa AVSWAT 2000

Klik *OK* tinjau ulang *input* sebelum mencoba menjalankan yang baru.

b. Jika simulasi berakhir dengan baik, suatu *message box* akan memberi tahu pemakai bahwa yang dijalankan sukses.

Klik *OK*. *Prompt box* akan ditampilkan.

Simulasi SWAT menghasilkan *file output* ASCII data yang harus ditransfer ke tabel dBASE untuk mengakses di *inteface*. Klik *Yes* untuk memuat data output ke tabel dBASE. Klik *NO* untuk menunda pembuatan tabel *output* dBASE untuk waktu yang akan datang. (Meng-klik *Yes* melaksanakan opsai yang sama yang dilakukan dengan perintah *Read Result* pada menu *Simulation*).

18. Klik *Close* untuk keluar dari *Calibration Tool*.

2.8. Uji Homogenitas Data

2.8.1. Uji Z

Uji Z merupakan salah satu uji statistik yang pengujian hipotesisnya didekati dengan distribusi normal. Menurut teori limit terpusat, data dengan ukuran sampel yang besar akan berdistribusi normal. Oleh karena itu, uji Z dapat digunakan untuk menguji data yang sampelnya berukuran besar. Jumlah sampel 30 atau lebih dianggap sampel berukuran besar. Uji Z juga dipakai untuk menganalisis data yang varians populasinya diketahui.

Untuk menguji apakah kedua kelompok data tersebut tidak berbeda secara nyata (*significant*) digunakan Uji Z dengan menghitung Z_m berdasarkan rumus berikut :

$$Z_m = \frac{\mu_1 - \mu_2}{S_d} \dots\dots\dots (2- 48)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_1}} \dots\dots\dots (2- 49)$$

dengan :

μ_1 = rerata sampel 1; μ_2 = rerata sampel 2

s_1 = simpangan baku 1; s_2 = simpangan baku 2

n_1 = ukuran sampel 1; n_2 = ukuran sampel 2

Tabel 2.12
Distribusi Normal

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0754
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2258	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2518	0.2549
0.7	0.2580	0.2612	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2996	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990
3.1	0.4990	0.4991	0.4991	0.4991	0.4992	0.4992	0.4992	0.4992	0.4993	0.4993
3.2	0.4993	0.4993	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4995	0.4995	0.4995
3.3	0.4995	0.4995	0.4995	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4997
3.4	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997
3.5	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998
3.6	0.4998	0.4998	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.7	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.8	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.9	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

Sumber : Montarcih L dan Soetopo (2013, pp.8-9)

2.8.2. Uji T

Uji T disebut juga dengan uji parsial, yaitu untuk menguji bagaimana pengaruh masing-masing variabel bebasnya secara tersendiri terhadap variabel terikatnya. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan t hitung dengan t tabel atau dengan melihat kolom signifikansi pada masing-masing t hitung.

Uji T termasuk jenis uji untuk sampel kecil. Ukuran sampel kecil $n < 30$. Untuk mengetahui apakah 2 sampel berasal dari populasi yang sama, maka dihitung t hitung dengan rumus :

$$t = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \dots\dots\dots (2- 50)$$

$$= \sqrt{\frac{(N_1 - 1)s_1^2 + (N_2 - 1)s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \dots\dots\dots (2- 51)$$

dengan :

μ_1 = rerata sampel 1; μ_2 = rerata sampel 2

s_1 = simpangan baku 1; s_2 = simpangan baku 2

n_1 = ukuran sampel 1; n_2 = ukuran sampel 2

Tabel 2.13

Distribusi *Student's T*

v	$t_{0.995}$	$t_{0.99}$	$t_{0.975}$	$t_{0.95}$	$t_{0.90}$	$t_{0.80}$	$t_{0.75}$	$t_{0.70}$	$t_{0.60}$	$t_{0.55}$
1	63.66	31.82	12.71	6.31	3.08	1.376	1.000	0.727	0.325	0.158
2	9.92	6.96	4.30	2.92	1.89	1.061	0.816	0.617	0.289	0.142
3	5.84	4.54	3.18	2.35	1.64	0.978	0.765	0.584	0.277	0.137
4	4.60	3.75	2.78	2.13	1.53	0.941	0.741	0.569	0.271	0.134
5	4.03	3.36	2.57	2.02	1.48	0.920	0.727	0.559	0.267	0.132
6	3.71	3.14	2.45	1.94	1.44	0.906	0.718	0.553	0.265	0.131
7	3.50	3.00	2.36	1.90	1.42	0.896	0.711	0.549	0.263	0.130
8	3.36	2.90	2.31	1.86	1.40	0.889	0.706	0.546	0.262	0.130
9	3.25	2.82	2.26	1.83	1.38	0.883	0.703	0.543	0.261	0.129
10	3.17	2.76	2.23	1.81	1.37	0.879	0.700	0.542	0.260	0.129
11	3.11	2.72	2.20	1.80	1.36	0.876	0.697	0.540	0.260	0.129
12	3.06	2.68	2.18	1.78	1.36	0.873	0.695	0.539	0.259	0.128
13	3.01	2.65	2.16	1.77	1.35	0.870	0.694	0.538	0.259	0.128
14	2.98	2.62	2.14	1.76	1.34	0.868	0.692	0.537	0.258	0.128
15	2.95	2.60	2.13	1.75	1.34	0.866	0.691	0.536	0.258	0.128
16	2.92	2.58	2.12	1.75	1.34	0.865	0.690	0.535	0.258	0.128
17	2.90	2.57	2.11	1.74	1.33	0.863	0.689	0.534	0.257	0.128
18	2.88	2.55	2.10	1.73	1.33	0.862	0.688	0.534	0.257	0.127
19	2.86	2.54	2.09	1.73	1.33	0.861	0.688	0.533	0.257	0.127
20	2.84	2.53	2.09	1.72	1.32	0.860	0.687	0.533	0.257	0.127
21	2.83	2.52	2.08	1.72	1.32	0.859	0.686	0.532	0.257	0.127
22	2.82	2.51	2.07	1.72	1.32	0.858	0.686	0.532	0.256	0.127
23	2.81	2.50	2.07	1.71	1.32	0.858	0.685	0.532	0.256	0.127
24	2.80	2.49	2.06	1.71	1.32	0.857	0.685	0.531	0.256	0.127
25	2.79	2.48	2.06	1.71	1.32	0.856	0.684	0.531	0.256	0.127
26	2.78	2.48	2.06	1.71	1.32	0.856	0.684	0.531	0.256	0.127
27	2.77	2.47	2.05	1.70	1.31	0.855	0.684	0.531	0.256	0.127
28	2.76	2.47	2.05	1.70	1.31	0.855	0.683	0.530	0.256	0.127
29	2.76	2.46	2.04	1.70	1.31	0.854	0.683	0.530	0.256	0.127
30	2.75	2.46	2.04	1.70	1.31	0.854	0.683	0.530	0.256	0.127
40	2.70	2.42	2.02	1.68	1.30	0.851	0.681	0.529	0.255	0.126
60	2.66	2.39	2.00	1.67	1.30	0.848	0.679	0.527	0.254	0.126
120	2.62	2.36	1.98	1.66	1.29	0.845	0.677	0.526	0.254	0.126
∞	2.58	2.33	1.96	1.645	1.28	0.842	0.674	0.524	0.253	0.126

Sumber : Montarcih L dan Soetopo (2013, pp.28-29)

2.9. Erosi yang Diperbolehkan

Penetapan batas tertinggi laju erosi yang masih dapat dibiarkan atau ditoleransikan, adalah perlu karena tidak mungkin menekan laju erosi menjadi nol dari tanah-tanah yang diusahakan untuk pertanian terutama pada tanah-tanah yang berlereng.

Laju erosi yang dinyatakan dalam mm/tahun atau ton/ha/thn yang terbesar yang masih dapat dibiarkan atau ditoleransikan agar terpelihara suatu kedalaman tanah yang cukup bagi pertumbuhan tanaman yang memungkinkan tercapainya produktivitas yang tinggi secara lestari disebut erosi yang masih dapat dibiarkan atau ditoleransikan disebut nilai T.

Beberapa cara menetapkan nilai T dikemukakan, dan besarnya nilai T tanah pada beberapa negara telah ditetapkan. Arsyad (1989) menyarankan sebagai pedoman penetapan nilai T di Indonesia, seperti yang tertera pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14

Pedoman Penetapan Nilai T berdasarkan Arsyad

No	Sifat tanah dan sub stratum	Nilai T (ton/ha/th)
1	Tanah dangkal di atas batuan	1.12
2	Tanah dalam di atas batuan	2.24
3	Tanah dengan lapisan bawahnya (sub soil) padat, di atas substrata yang tidak terkonsolidasi (telah mengalami	4.48
4	Tanah dengan lapisan bawahnya berpermeabilitas lambat, di atas bahan yang tidak terkonsolidasi	8.96
5	Tanah dengan lapisan bawahnya berpermeabilitas sedang, di atas bahan yang tidak terkonsolidasi	11.21
6	Tanah yang lapisan bawahnya permeabel (agak cepat), di atas bahan yang tidak terkonsolidasi	13.45

Sumber : Thomson (1957) dalam Arsyad (1989, p.355)

Catatan :

- .. $\frac{\text{ton / h / th}}{\text{berat volume soil} \times 10} = \text{mm / th} \dots\dots\dots(2- 52)$
- Berat volume tanah berkisar antara 0.8 sampai 1.6 gr/cc akan tetapi pada umumnya tanah – tanah berkadar liat tinggi mempunyai berat volume antara 1.0 sampai 1.2 gr/cc

Hasil penelitian Hardjowigeno (1987) dapat ditetapkan besarnya T maksimum untuk tanah-tanah di Indonesia adalah 2,5 mm per tahun, yaitu untuk tanah dalam dengan lapisan yang tidak terkonsolidasi. Tanah-tanah yang kedalaman kurang atau sifat-sifat lapisan bawah yang lebih kedap air atau terletak diatas substratum yang belum melapuk, nilai T harus lebih kecil dari 2,5 mm per tahun.

2.10. Indeks Bahaya Erosi

Indeks bahaya erosi adalah petunjuk besarnya bahaya erosi pada suatu lahan. Tujuan untuk menentukan indeks bahaya erosi sebenarnya sama dengan tujuan menentukan tingkat bahaya erosi yaitu untuk mengetahui sejauh mana erosi yang terjadi akan membahayakan kelestarian produktivitas tanah yang bersangkutan. Perbedaan kedua istilah tersebut terletak dalam metode menentukan nilainya masing-masing. Tingkat bahaya erosi ditentukan berdasar atas perbandingan antara jumlah tanah tererosi dengan kedalaman efektif tanah. Indeks bahaya erosi dapat ditentukan yaitu dengan membandingkan jumlah tanah yang tererosi dan besarnya erosi yang diperbolehkan.

Nilai Indeks Bahaya Erosi ditetapkan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Indeks Bahaya Erosi} = \frac{\text{Erosipotensial(ton/ha/tahun)}}{T \text{ (ton/ha/tahun)}} \dots\dots\dots (2- 53)$$

dengan T adalah besarnya erosi yang masih dibiarkan.

Tabel 2.15
Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi

Indeks Bahaya Erosi (IBE)	Harkat
1,0	Rendah
1,01 – 4,0	Sedang
4,01 – 10,0	Tinggi
10,1	Sangat tinggi

Sumber : Arsyad, (1989, p.357)

2.11. Bangunan Pengendali Sedimen (Check Dam)

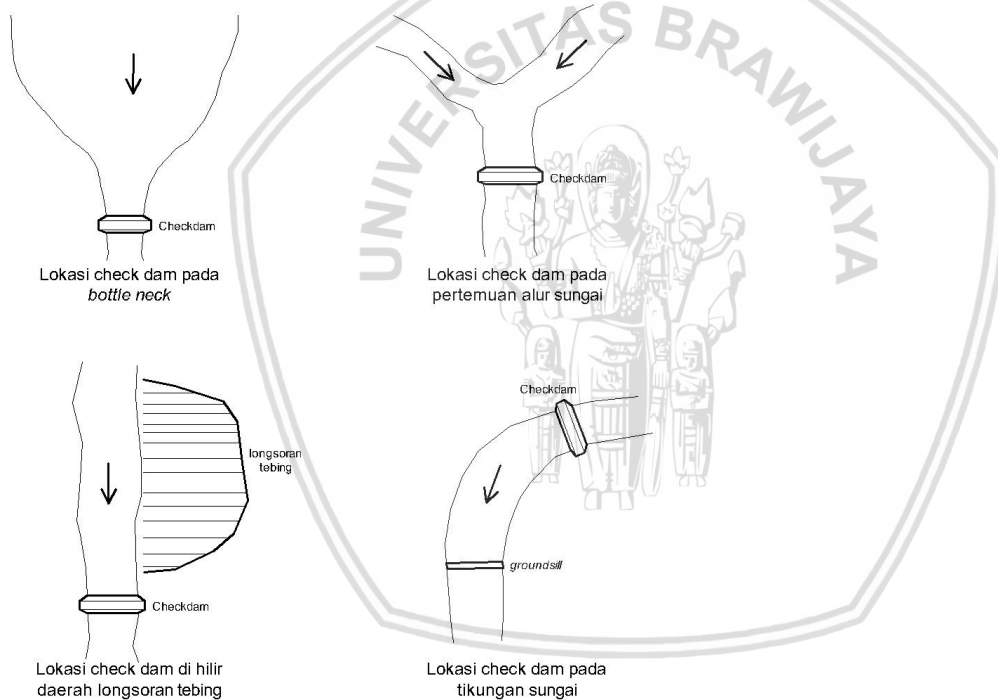
Check dam (Dam Pengendali Sedimen) merupakan bangunan yang dibuat melintang pada sungai yang fungsinya adalah untuk menahan sedimen yang mengalir dan ada di tempat tersebut, menahan sedimen dan mengendalikan aliran sedimen, mencegah erosi tebing serta dasar sungai, mengurangi kecepatan banjir lahar akibat dasar sungai menjadi lebih landai. Jika *check dam* sudah penuh dan kemudian terjadi lagi aliran sedimen maka *check dam* akan menahan sementara sebagian material yang mengalir dan pada waktu tidak banjir maka sedimen yang tertahan akan dilepas turun sedikit demi sedikit bersama aliran air. *Check dam* dibangun pada bagian hulu sungai yang mempunyai tebing tinggi sehingga mempunyai daya tampung material yang besar.

Penentuan lokasi bangunan pengendali sedimen untuk menanggulangi masalah erosi dan sedimentasi disarankan berada pada lokasi aliran sungai pada sub DAS dalam kondisi Indeks Bahaya Erosi (IBE) tinggi, atau sangat tinggi.

2.11.1. Tata Letak Pengendali Sedimen

Tata letak bendung pengendali dasar sungai harus memenuhi ketentuan–ketentuan, sebagai berikut (Pd T-12-2004-A,2004, p.5) :

- lokasi bendung pengendali dasar sungai harus direncanakan pada tempat yang dasar sungainya dikhawatirkan akan turun;
- di sekitaran titik pertemuan kedua sungai dengan lokasi di sebelah hilirnya;
- untuk melindungi pondasi dan bentuk konstruksi lainnya, lokasi bendung pengendali dasar sungai harus dibangun disebelah hilirnya;
- direncanakan pada alur sungai yang tidak stabil dan diharapkan pada alur yang dapat diatur dan stabil oleh konstruksi bendung pengendali dasar sungai;
- sumbu bendung pengendali dasar sungai didesain tegak lurus dengan alur sungai disebelah hilirnya.



Gambar 2.11 Lokasi Lokasi Bangunan Pengendali Sedimen

Sumber : Pd T-12-2004-A (2004, p.24)

2.11.2. Bentuk dan Tipe Bangunan Pengendali Sedimen (*Check Dam*)

Bentuk bangunan pengendali sedimen bervariasi, tergantung pada kondisi dan situasi setempat, antara lain: konfigurasi palung sungai (sempit, lebar, dalam atau dangkal) dan jenis material sedimen (pasir, kerikil, batu atau tanah) serta fungsi sampingannya. Bentuk tipikal *check dam* yang banyak dijumpai di Indonesia adalah kategori impermeable, karena air turut tertampung bersama material sedimen terutama yang berdiameter cukup besar seperti batu dalam berbagai ukuran. Bagian-bagian *check dam* antara lain: puncak dam, pelimpah, sayap, apron, sub dam, lubang drip, dinding apron dan *cut off*.

Berdasarkan fungsinya, bangunan sabo dibedakan atas dua tipe bangunan yaitu (Subarkah, 2005, p.21):

1. Bangunan *check dam* tipe tertutup

Bangunan *check dam* tipe tertutup sangat efektif untuk menahan, menampung dan mereduksi aliran sedimen. Aliran sedimen mengisi ruang tampung secara cepat maupun lambat tergantung skala dan interval banjir. Namun apabila volume tampung sudah penuh sedimen, fungsi utamanya hanya sebagai penahan dan pereduksi debit puncak sedimen karena fungsi tampung sudah nol. Fenomena pengisian ruang tampung sabo berpengaruh terhadap proses penurunan dasar sungai di bagian hilir karena suplai sedimen berkurang menyebabkan keseimbangan aliran sedimen terganggu.

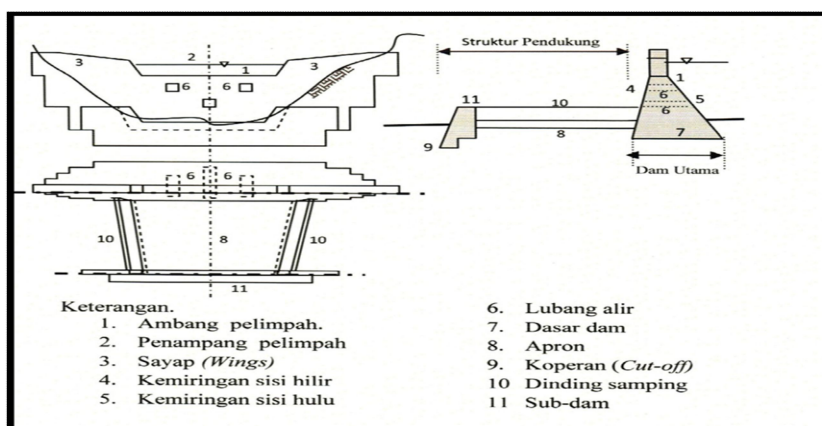
2. Bangunan *check dam* tipe terbuka

Bangunan *check dam* tipe terbuka pada umumnya mempunyai dua macam bentuk yaitu “*slit*” (celah) dan bentuk “*grid*”. Prinsip tipe terbuka adalah “*main dam*” diberi lubang sesuai dengan persyaratan agar mampu mengalirkan sedimen ke hilir secara perlahan dan bertahap pada saat banjir besar maupun banjir kecil.

Check dam terbuka dengan bentuk celah sangat efektif guna mereduksi aliran debit puncak sedimen karena volume kontrol dapat direncanakan dengan menentukan dimensi dan jumlah celah bangunan. *Check dam* terbuka dengan bentuk “*grid*” pada umumnya dibuat dari pipa baja atau rangka baja. Pada debit kecil dan sedang, material sedimen akan lolos ke hilir. Namun pada saat terjadi aliran debris, sabo dam tipe ini sangat efektif untuk menangkap batu besar dan batang kayu yang terangkut oleh banjir, sedangkan material sedimen berbutiri kecil lolos ke hilir.

2.11.3. Bagian Bangunan Pengendali Sedimen (*Check Dam*)

Komponen dam utama disajikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.12 Bagian-bagian Bangunan Dam Pengendali Sedimen
Sumber: Kementerian Pekerjaan umum, Desain Sabo (2012, p.11)

a. Perhitungan dimensi peluap

Peluap dibuat bentuk trapezium, lebar peluap harus lebih kecil daripada lebar sungai, tinggi peluap dapat ditentukan berdasarkan debit desain dan tinggi jagaan. Perhitungan digunakan persamaan berikut (Pd. T-12-2004-A, 2004, p.9) :

$$Q_d = (2/15) \cdot C_d \cdot \sqrt{2g} \cdot (3B_1 + 2B_2) \cdot h_w^{3/2} \quad \dots\dots\dots(2- 54)$$

jika $m = 0.5$ dan $c = 0.6 \rightarrow$ maka rumus di atas menjadi :

$$Q_d = (0,71 \times h_3 + 1,77 \times B_1) \times h_3^{3/2} \quad \dots\dots\dots(2- 55)$$

dengan :

Q_d = debit banjir rencana (m^3/dt)

C_d = koefisien debit (0.6 – 0.66)

g = percepatan gravitasi ($9.8 m^3/dt$)

B_1 = lebar peluap bagian bawah (m)

B_2 = lebar muka air di atas peluap (m)

h_w = tinggi air di atas peluap (m)

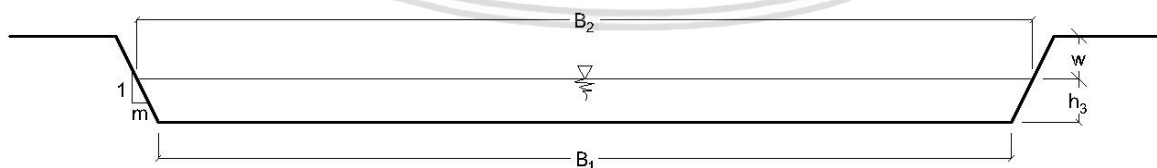
w = tinggi jagaan (m)

Tabel 2.16

Tinggi Jagaan pada Peluap

Debit Desain (m^3/dt)	Tinggi Jagaan (m)
50	0.6
50 - 100	0.8
100 - 200	1
200 - 500	1.2
500 - 2000	1.5

Sumber: Pd. -12-2004-A (2004, p.22)



Gambar 2.13 Potongan Melintang Pelimpah

b. Perhitungan lebar mercu peluap

Lebar mercu ditentukan dengan persamaan (Pd. -12-2004-A, 2004, p.9) :

$$b = n/f \cdot x_w/x_c (t + \Delta t/2) \cdot (1 + 4V^2/100) \quad \dots\dots\dots(2- 56)$$

$$V = Q/A \quad \dots\dots\dots(2- 57)$$

$$b = (2 - 3)/0,8 \cdot x_w/x_c (t + \Delta t/2) \cdot (1 + 4(Q/A)^2/100) \quad \dots\dots\dots(2- 58)$$

dengan :

n = koefisien keamanan (2 - 3)

t = dalamnya sekoring di depan mercu (m)

V = kecepatan aliran saat banjir (m/dt)

f = koefisien gesekan dalam titik bendung (0,80)

w = berat volume aliran air (1 - 1,2 t/m³)

c = berat volume bendung (t/m³)

t = tinggi muka di depan mercu (m)

b = lebar mercu peluap (m)

Q = debit desain (m³/dt)

A = luas penampang peluap (m)

c. Perhitungan kemiringan tubuh bendung utama

Kemiringan bagian hulu dari bendung utama harus ditentukan berdasarkan syarat stabilitas bangunan dan untuk itu dapat digunakan persamaan di bawah ini (Pd. T-12-2004-A, 2004, p.7) :

$$(1 + \frac{1}{n}) m^2 + [2(n + \frac{1}{n}) + (4 + \frac{1}{n}) + 2] m - (1 + 3 \frac{1}{n}) + (4n + \frac{1}{n}) + (3n + 2 + n^2) = 0 \dots\dots\dots (2- 59)$$

dengan :

$$= h_w/h_d$$

$$= b/h_p$$

$$h_d = h_p + h_m$$

$$= c + w$$

n = kemiringan di hilir tubuh main dam

m = kemiringan di hulu tubuh main dam

c = berat jenis bahan bendung (kg/cm²)

w = berat jenis air (kg/cm²)

h_w = tinggi air di atas peluap (m)

h_m = tinggi efektif main dam (m)

h_d = tinggi total main dam (m)

b_l = lebar pelimpah (m)

d. Perhitungan tebal lantai kolam olak

Berikut persamaan untuk menghitung dimensi peluap pada sabo dam (Pd. T-12-2004-A, 2004, p.8):

- Untuk kolam olak tanpa subdam

$$t = 0,2 (0,6 \times H_1 + 3 \cdot h_3 - 1) \dots\dots\dots(2- 60)$$

- Untuk kolam olak dengan subdam

$$t = 0,1 \times (0,6 \times H_1 + 3 \cdot h_3 - 1) \dots\dots\dots(2- 61)$$

dengan :

t = tebal lantai kolam olak (m)

H_1 = tinggi bendung utama dari permukaan lantai kolam olak (m)

h_3 = tinggi air di atas peluap bendung utama

- e. Perhitungan jarak bendung utama dan subdam (panjang kolam olak)

Berikut persamaan untuk menghitung dimensi peluap pada sabo dam (Pd. T-12-2004-A, 2004, p.7):

- Persamaan hidraulik

$$L = l_w + X + b_2 \dots\dots\dots(2- 62)$$

$$l_w = V_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (H_1 + \frac{1}{2} \cdot h_3)}{g}} \dots\dots\dots(2- 63)$$

$$V_0 = q_0 / h_3 \dots\dots\dots(2- 64)$$

$$X = \cdot h_j \dots\dots\dots(2- 65)$$

$$h_j = h_1 / 2 \cdot \{ \sqrt{1 + 8 \cdot Fr_1^2} - 1 \} \dots\dots\dots(2- 66)$$

$$h_1 = q_1 / V_1 \dots\dots\dots(2- 67)$$

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_1 + h_3)} \dots\dots\dots(2- 68)$$

$$Fr_1 = V_1 / \sqrt{g \cdot h_1} \dots\dots\dots(2- 69)$$

dengan:

l_w = jarak terjunan (m)

X = panjang loncatan air (m)

b_2 = lebar mercu subdam (m)

q_0 = debit per meter pada peluap ($m^3/det/m$)

h_3 = tinggi air diatas peluap bendung utama (m)

H_1 = tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)

= koefisien besarnya (4.5-5.0)

h_j = tinggi dari permukaan lantai kolam olak (permukaan batuan dasar) sampai ke muka air diatas mercu subdam.

h_1 = tinggi air pada titik jatuh terjunan (m)

q_1 = debit aliran tiap meter lebar pada titik jatuh terjunan ($m^3/dt/m$)

V_1 = kecepatan jatuh pada terjunan (m/dt)

F_{r1} = angka *Froude* aliran pada titik terjunan

- Persamaan empiris

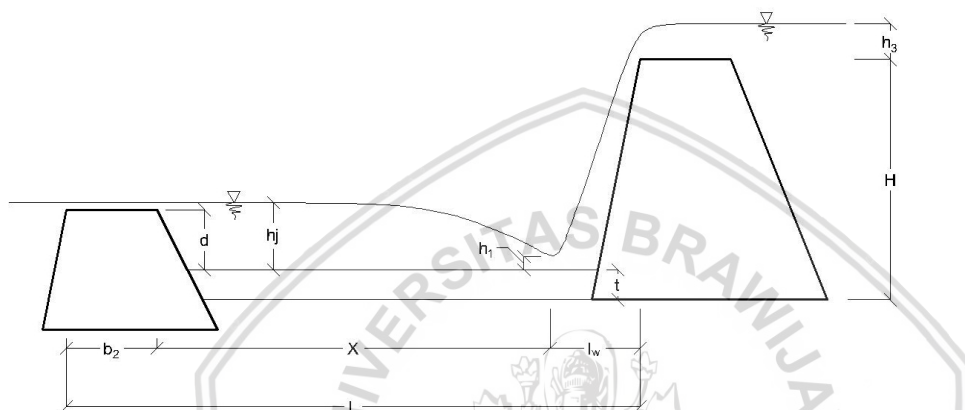
$$L = (1,5 \text{ s/d } 2,0) \times (H_1 + h_3) \dots\dots\dots (2- 70)$$

dengan:

L = jarak bendung utama dan subdam (m)

H_1 = tinggi bendung utama dari permukaan lantai kolam olak (m)

h_3 = tinggi air di atas peluap bendung utama



Gambar 2.14 Notasi Pada Bendung Utama, Kolam Olak, dan Subdam

f. Perhitungan tinggi subdam

Ketentuan sub dam meliputi pada hal-hal berikut (Pd. T-12-2004, 2004, p.9):

- Bentuk mercu dan kemiringan hilir sub dam harus sama dengan bentuk bendung utama.
- Dimensi sub dam disesuaikan dengan gaya-gaya yang bekerja.
- Tinggi sub dam ditentukan berdasarkan persamaan energi (hidraulik) dan atau persamaan empiris.

Rumus percobaan hidraulik :

$$\frac{d}{h_1} = \left[\frac{\left\{ \left(1 + 2F_{r1}^2 \right) \times \left(1 + 8F_{r1}^2 \right)^{1/2} - 5F_{r1}^2 - 1 \right\}}{\left\{ \left(1 + 4F_{r1}^2 \right) - \left(1 + 8F_{r1}^2 \right)^{1/2} - 1,5F_{r1}^{2/3} \right\}} \right] \dots\dots\dots (2- 71)$$

dengan:

d = tinggi subdam (m)

h_1 = tinggi air pada titik jatuh terjun (m)

Fr_1 = angka *Froude* aliran pada titik terjun

Rumus empiris :

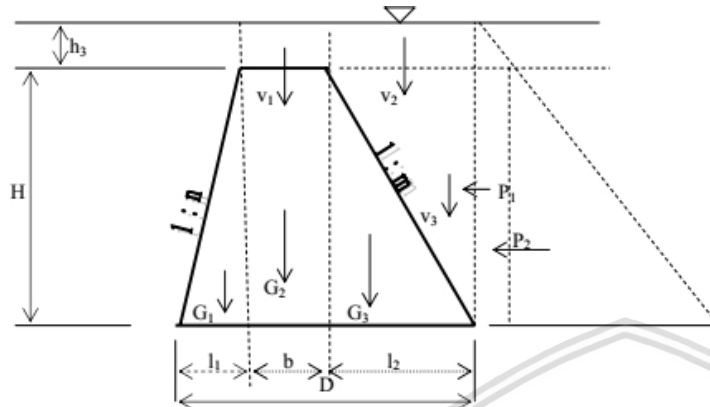
$$H_2 = (1/3 \text{ s/d } 1/4) \times H \dots\dots\dots (2- 72)$$

dengan :

H_2 = tinggi bendung pembantu (sub dam)

H = tinggi total bendung utama

g. Perhitungan stabilitas bendung



Gambar 2.15 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Tubuh Bendung

Sumber: Pd. T-12-2004-A (2004, p.13)

Tabel 2.17

Hitungan Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Bendung Pengendali Dasar Sungai < 15 Meter (Kondisi Biasa Dan Banjir)

Beban	Notasi	Gaya	V	H	Lengan	Momen
Berat sendiri	G_1	$\frac{1}{2} \cdot c \cdot H \cdot nH$	+		$\frac{1}{2} \cdot nH$	+
	G_2	$b \cdot c \cdot H$	+		$nH + \frac{1}{2} \cdot b$	+
	G_3	$\frac{1}{2} \cdot c \cdot H \cdot mH$	+		$nH + b + \frac{1}{2} \cdot mH$	+
Tekanan air statik pada komponen vertikal	V_1	$h_3 \cdot b \cdot w$	+		$nH + \frac{1}{2} \cdot b$	+
	V_2	$h_3 \cdot mH \cdot w$	+		$nH + b + \frac{1}{2} \cdot mH$	+
	V_3	$\frac{1}{2} \cdot H \cdot mH \cdot w$	+		$nH + b + \frac{1}{2} \cdot mH$	+
Tekanan air statik pada komponen horizontal	P_1	$w \cdot h_3 \cdot H$		-	$\frac{1}{2} \cdot H$	-
	P_2	$\frac{1}{2} \cdot w \cdot H^2$		-	$\frac{1}{3} \cdot H$	-

Sumber: Pd. T-12-2004-A (2004, p.23)

dengan :

b = lebar mercu bendung (m)

c = berat volume tubuh bendung pengendali dasar sungai (t/m^3)

w = berat volume aliran air ($1 - 1.2 t/m^3$)

m = kemiringan pada bagian hulu bendung utama

n = kemiringan bagian hilir bendung utama

H = tinggi total bendung utama (m)

h_3 = tinggi muka air di atas mercu (m)

- Stabilitas Terhadap Guling

Berikut persamaan untuk menghitung dimensi peluap pada sabo dam (Pd. T-12-2004-A, 2004, pp.11-12):

$$X = M/P \dots\dots\dots (2- 73)$$

$$e = X - D/2 \dots\dots\dots (2- 74)$$

Pada umumnya besarnya X disyaratkan $D/3 < X < D.2/3$

atau $e < 1/6.D$

$$S_F = \Sigma M_V / \Sigma M_H \dots\dots\dots (2- 75)$$

dengan:

X = jarak dari tumit bending tepi (hulu) sampai ke titik tangkap resultan gaya (m)

e = jarak dari as sampai ke titik tangkap resultan gaya (m)

M_V = jumlah momen yang menhan (tm)

M_H = jumlah momen yang menggulingkan (tm)

M = momen total ($M_V - M_H$) (tm)

P_V = gaya vertical total (t)

- Stabilitas Terhadap Geser

Berikut persamaan untuk menghitung dimensi peluap pada sabo dam (Pd. T-12-2004-A, 2004, p.12):

$$S_{Fgeser} = (f.P_V)/P_H \dots\dots\dots (2- 76)$$

dengan :

SF geser = faktor keamanan terhadap geser

P_V = gaya vertical total (t)

P_H = gaya horizontal total (t)

f = koefisien geser antara dasar badan bendung dan tanah dasar

Tabel 2.18

Angka Keamanan Terhadap Geser Yang Disarankan

Jenis Tanah Dasar	Angka Keamanan Sf	Tinggi Bendung
Batuan cukup kompak	4	-
Fondasi Apung	1.2	< 15 meter
Fondasi Apung	1.5	> 15 meter

Sumber: Pd. T-12-2004-A (2004, p.22)

- Daya Dukung Tanah

Daya dukung *ultimate* yang memperhitungkan kohesi tanah, beban terbagi rata dan volume berat tanah ($q_u = q_c + q_q + q_l$). Berikut persamaan umum menghitung daya dukung ultimit pondasi memanjang sebagai berikut (Rumus Terzaghi) :

$$q_{ult} = C.N_c + b.N_q.D_f + 0,5. b.B.N \dots\dots\dots(2- 77)$$

dengan :

q_{ult} = daya dukung *ultimate* pondasi

C = kohesi tanah

b = berat volume tanah

D_f = kedalaman dasar pondasi

B = lebar pondasi

N_c, N_q, N = Nilai faktor daya dukung Terzaghi ditentukan oleh besar sudut geser dalam

Setelah mendapatkan nilai daya dukung *ultimate* tanah (q_{ult}).

Dimana, $p_o = D_f. b$

Daya dukung pondasi di atas hanya dapat digunakan untuk perhitungan daya dukung ultimit pondasi memanjang. Oleh karena itu, Terzaghi masih memberikan pengaruh faktor bentuk terhadap daya dukung ultimate yang didasarkan pada analisa pondasi memanjang sebagai berikut:

- Untuk pondasi bujur sangkar:

$$q_u = 1,3cN_c + p_oN_q + 0.4 bBN \dots\dots\dots(2- 78)$$

- Untuk pondasi lingkaran:

$$q_u = 1,3cN_c + p_oN_q + 0.3 bBN \dots\dots\dots(2- 79)$$

- Untuk pondasi persegi panjang:

$$q_u = cN_c (1+0.3B/L) + p_oN_q + 0.5 bBN (1-0.2B/L) \dots\dots\dots(2- 80)$$

dengan :

q_{ult} = daya dukung ultimate pondasi (t/m^2)

c = kohesi tanah (t/m^2)

b = berat volume tanah (t/m^3)

D_f = kedalaman dasar pondasi (m)

B = lebar atau diameter pondasi (m)

L = panjang pondasi (m)

Langkah berikutnya adalah menghitung daya dukung ijin tanah yaitu dengan rumus:

$$q = q_{ult} / S_f \dots\dots\dots (2- 81)$$

dengan :

q = daya dukung ijin tanah

q_{ult} = daya dukung tanah ultimit

S_f = faktor keamanan biasanya nilainya diambil 3

Tabel 2.19

Nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi

	N_c	N_q	N	N_c'	N_q'	N'
0°	5,7	1,0	0,0	5,7	1	0
5°	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10°	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15°	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20°	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25°	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30°	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34°	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9
35°	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40°	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45°	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48°	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50°	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Sumber: Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck (1993, p.35)

- Stabilitas Terhadap Geser Daya Dukung Tanah Pondasi

Berikut persamaan untuk menghitung dimensi peluap pada sabo dam (Pd. T-12-2004-A, 2004, p.12):

$$\sigma_1 = (P_v / D) \cdot (1 + 6 \cdot e / D) \dots\dots\dots (2- 82)$$

$$\sigma_2 = (P_v / D) \cdot (1 - 6 \cdot e / D) \dots\dots\dots (2- 83)$$

dengan :

σ_1 = tegangan vertical pada ujung hilir bendung (t/m^2)

σ_2 = tegangan vertical pada ujung hulu bendung (t/m^2)

P_v = gaya vertical total (t)

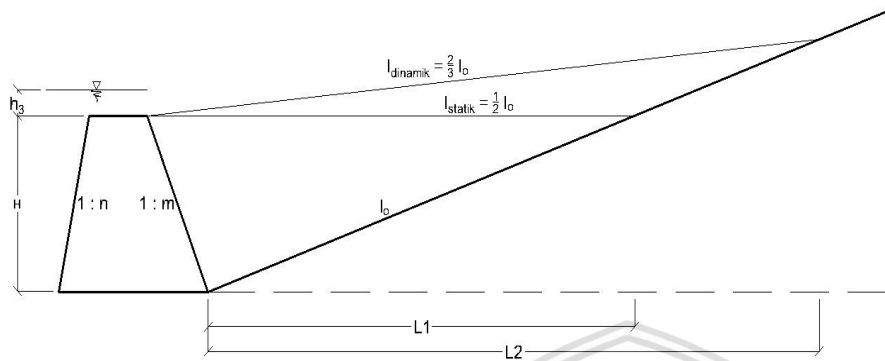
D = lebar dasar bendung utama (m)

e = eksentrisitas resultan gaya yang bekerja ($X - D/2$) (m)

X = jarak ujung hulu samapai titik tangkap resultan gaya (m)

2.11.4. Kapasitas Check Dam

Estimasi tampungan check dam tipe tertutup dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Penerapan Teknologi Sabo untuk Pengendalian Aliran Debris, 2007, pp.15-16):



Gambar 2.16 Tampungan Sedimen Pada Check Dam

Tabel 2.20

Berat Jenis Rata-rata dan kisarannya pada Berbagai Tekstur Tanah

Tekstur tanah	Berat Jenis (g/cm^3)
Pasir (Sandy)	1,65 (1,55-1,80)
Lempung berpasir (sandy loam)	1,50 (1,40-1,60)
Lempung (loam)	1,40 (1,35-1,50)
Lempung berliat (clay loam)	1,35 (1,30-1,40)
Liat bedebu (silty clay)	1,30 (1,25-1,35)
Liat (clay)	1,25 (1,20-1,30)

Sumber : Beasley dan Huggins (1982, p.11)

$$V_s = \frac{H \cdot B \cdot L1}{2} \dots\dots\dots (2- 84)$$

$$L1 = \frac{H}{I0 - Is} \dots\dots\dots (2- 85)$$

$$V_{tot} = \frac{H \cdot B \cdot L2}{2} \dots\dots\dots (2- 86)$$

$$L2 = \frac{H}{I0 - Id} \dots\dots\dots (2- 87)$$

Pada kondisi statis : $Is = \frac{1}{2} \cdot I0 \dots\dots\dots (2- 88)$

Pada kondisi dinamis : $Id = \frac{2}{3} \cdot I0 \text{ s.d } \frac{3}{4} \cdot I0 \dots\dots\dots (2- 89)$

V_s adalah volume tampungan statis/mati.

V_{tot} merupakan total volume tampungan.

BAB III METODOLOGI STUDI

3.1. Lokasi Studi

Kabupaten Lombok Barat adalah salah satu dari 10 (Sepuluh) Kabupaten / Kota di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Secara administrasi Kabupaten Lombok Barat terbagi ke dalam 10 Kecamatan, yaitu : Kecamatan Sekotong, Kecamatan Gerung, Kecamatan Kediri, Kecamatan Kuripan, Kecamatan Narmada, Kecamatan Lembar, Kecamatan Labuapi, Kecamatan Lingsar, Kecamatan Gunungsari dan Kecamatan Batulayar. Kecamatan Gerung merupakan Ibu kota Kabupaten sekaligus sebagai pusat Pemerintahan, yang mempunyai luas wilayah + 62.30 Km².

Dilihat pada keadaan geografisnya, Kabupaten Lombok Barat dibagi menjadi :

1. Daerah pegunungan, merupakan gugusan pegunungan yang membentang dari Kecamatan Lingsar sampai Kecamatan Narmada. Gugusan pegunungan ini merupakan sumber air sungai yang mengalir ke wilayah bagian tengah dan bermuara di pantai barat.

2. Daerah berbukit-bukit, yang terdapat pada bagian selatan meliputi Kecamatan Sekotong dan Lembar di bagian selatan.

Daerah dataran rendah, yang terdapat pada bagian tengah yang membentang dari perbatasan ujung timur dengan ujung barat.

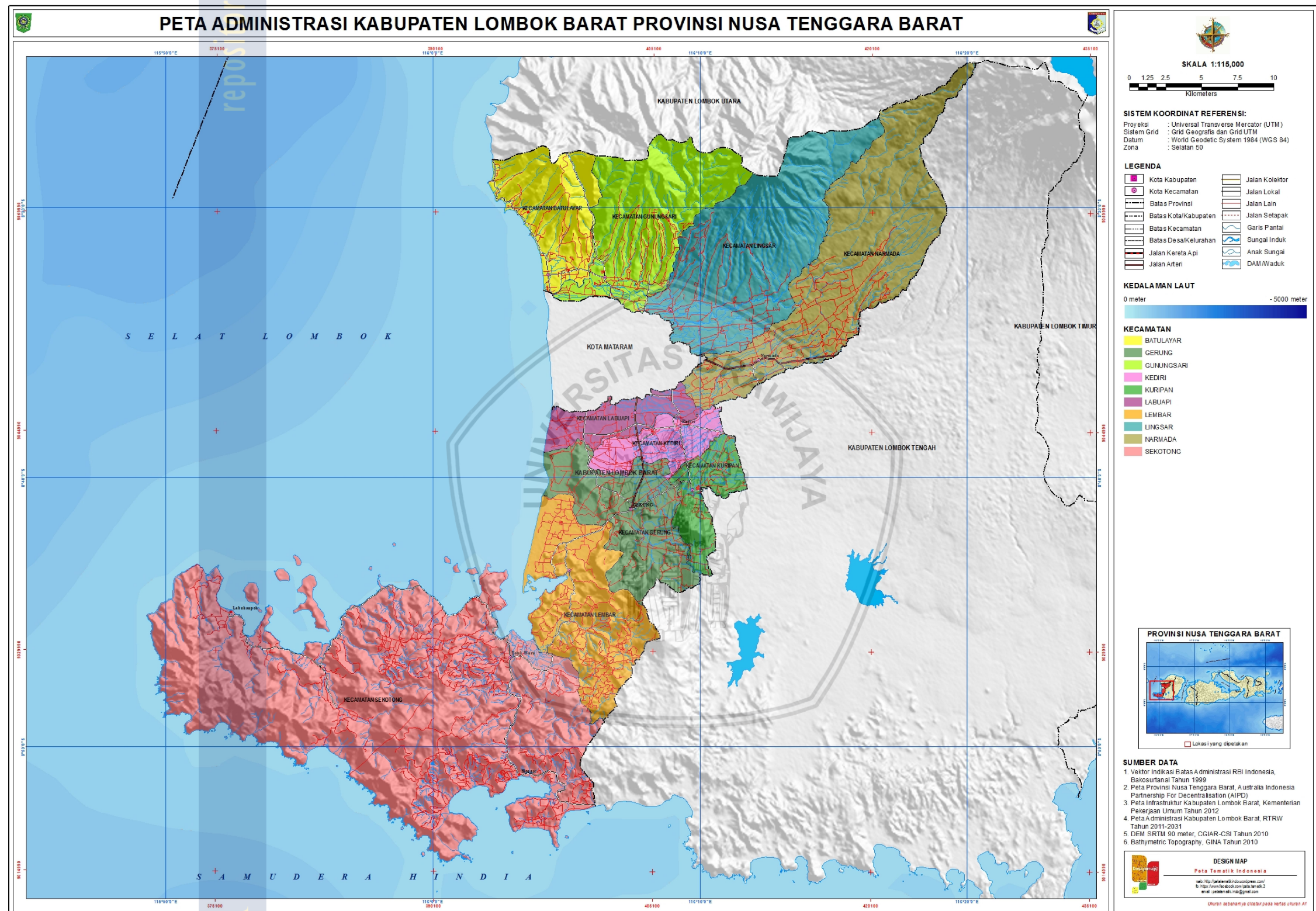
Keberadaan Kabupaten Lombok Barat terletak antara 115°.46' - 116°.20' Bujur Timur, dan 8°.25' sampai dengan 8°.55' Lintang Selatan, dengan batas wilayah :

-) Sebelah Barat : Selat Lombok dan Kota Mataram
-) Sebelah Timur : Kabupaten Lombok Tengah
-) Sebelah Selatan : Samudera Hindia
-) Sebelah Utara : Kabupaten Lombok Utara

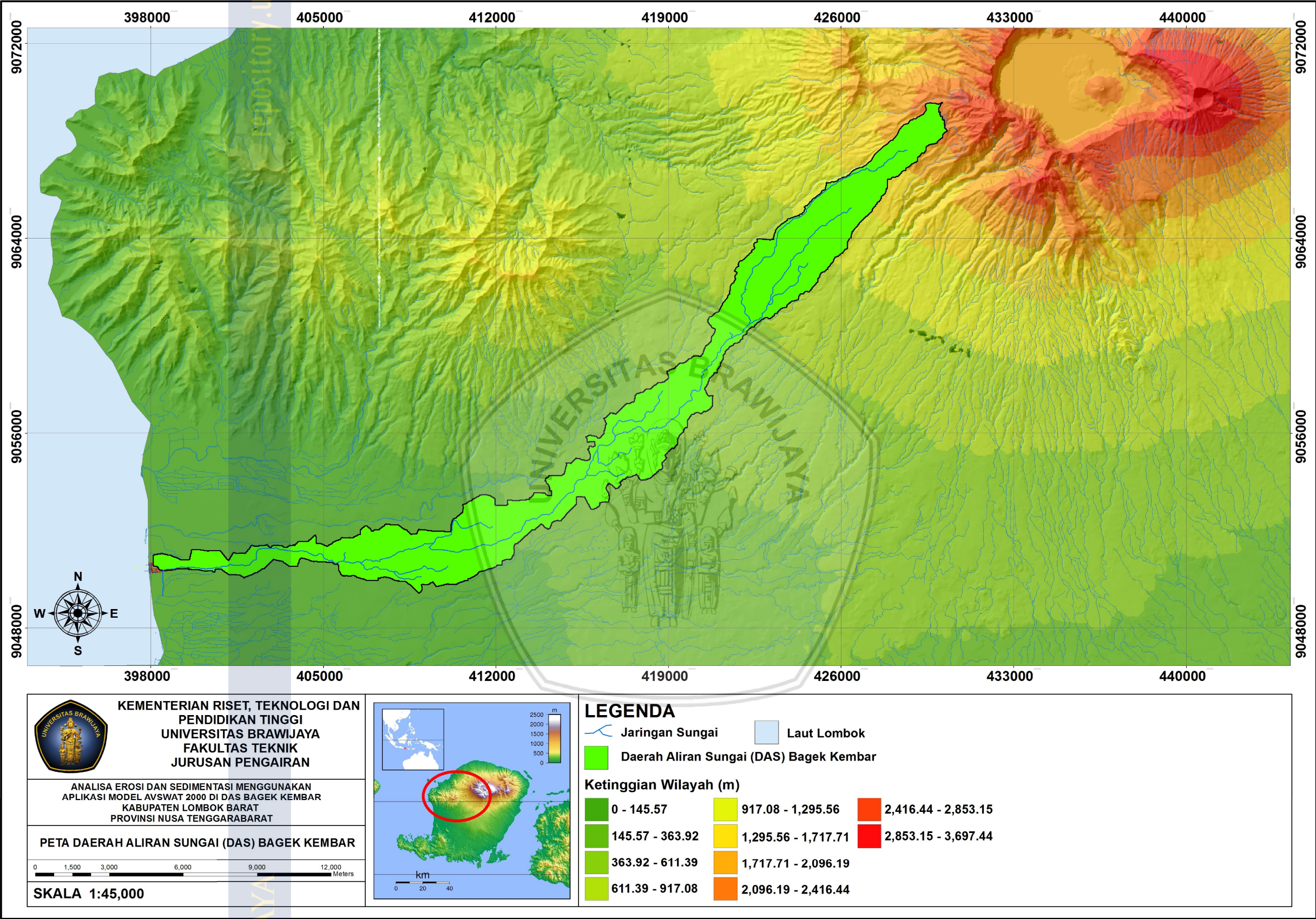
Luas wilayah Kabupaten Lombok Barat adalah ± 2215.11 Km², yang terdiri dari daratan seluas ± 862.62 km² dan lautan seluas ± 1352.49 km². Secara administrasi berdasarkan ketetapan Undang- undang No 26 tahun 2008 tentang pembentukan Daerah Otonomi Baru tertanggal 30 Desember 2008 Kabupaten Lombok Barat terbagi dalam 10 kecamatan, 88 Desa dan 671 Dusun, dimana Kecamatan Sekotong memiliki wilayah terbesar dengan luas wilayah ± 330.45 km² dan terkecil Kecamatan Kauripan dengan luas wilayah ± 21.56 km².

Batas-batas administrasi wilayah Kabupaten Lombok Barat dapat terlihat pada gambar sebagai berikut :



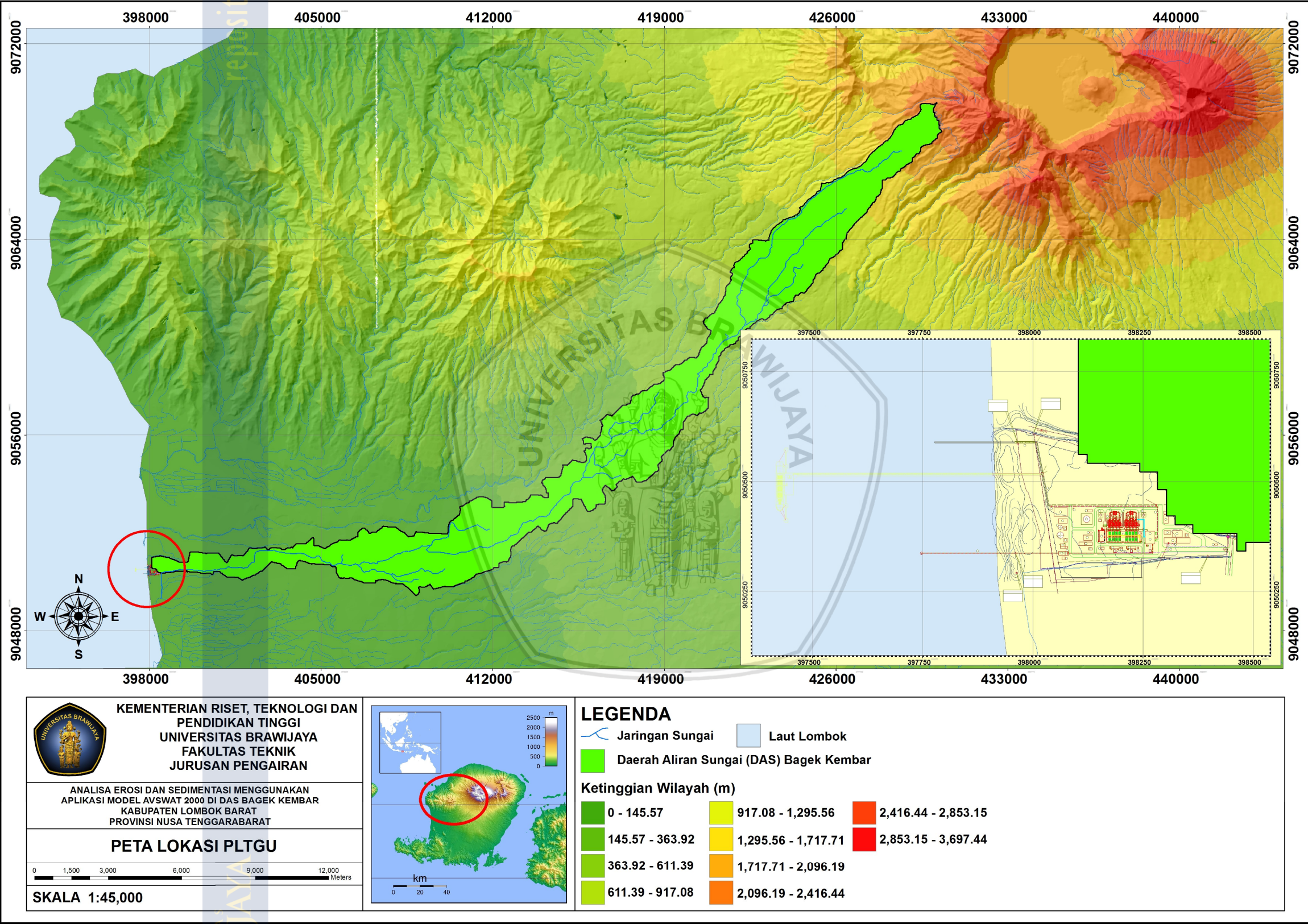


Gambar 3.1 Peta Administrasi Kabupaten Lombok Barat
 Sumber: <https://petatematikindo.wordpress.com>

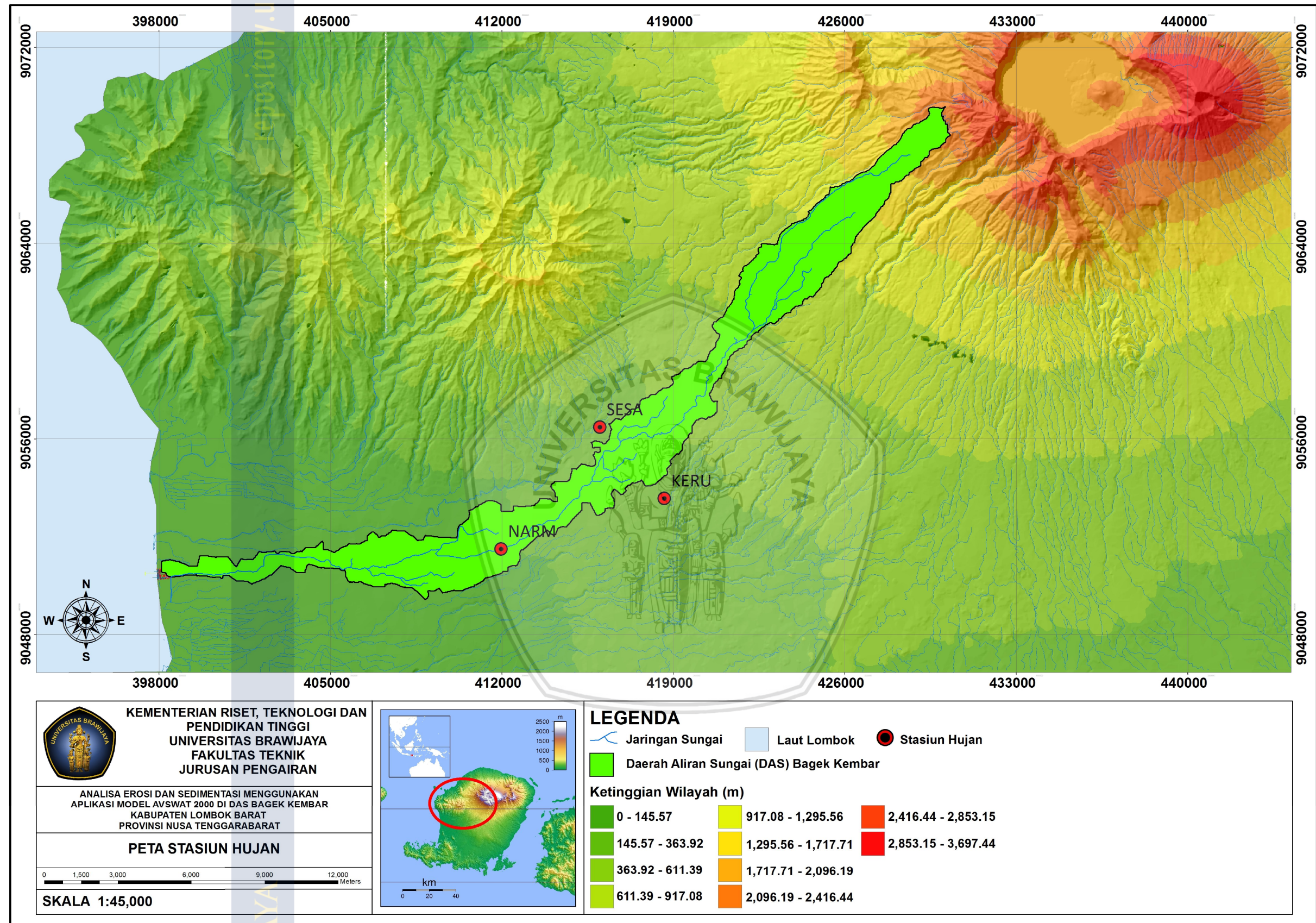


Gambar 3.2 Peta DAS Bagek Kembar
Sumber : Pengolahan data

Lokasi PLTGU *Power Plant Peaker* 130-150 MW adalah di Desa Batu Layar, Kecamatan Ampenan, Kabupaten Lombok Barat, Propinsi Nusa Tenggara Barat. Koordinat UTM lokasi Zona 50 S yaitu 398076 m E; 9050448 m S



Gambar 3.3 Peta Lokasi PLTGU Lombok Peaker
Sumber : Pengolahan data



Gambar 3.4 Peta Letak Stasiun Hujan
Sumber : Pengolahan data

3.2. Sistematika Pengerjaan Studi

3.2.1. Pengumpulan Data-Data

Data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan studi adalah sebagai berikut :

A. Peta digital, meliputi :

1. Peta topografi
2. Peta batas DAS dan sungai DAS Bagek Kembar
3. Peta tata guna lahan DAS Bagek Kembar
4. Peta jenis tanah DAS Bagek Kembar

B. Data hidrologi, meliputi :

1. Data curah hujan.
2. Data klimatologi.

3.2.2. Langkah-langkah Penyelesaian Studi

1. Menyiapkan data-data untuk *input* data yang diatur dan diolah sedemikian rupa sehingga sesuai dengan format yang diminta program AVSWAT agar dapat bekerja dengan baik pada saat menjalankan program simulasinya. Data-data yang disesuaikan formatnya adalah :

- a. Data curah hujan
- b. Data klimatologi
- c. Peta topografi
- d. Peta tata guna lahan
- e. Peta jenis tanah

2. Menampilkan peta lokasi studi :

- a. Peta topografi
- b. Peta tata guna lahan
- c. Peta jenis tanah

3. Metode pengolahan DEM (Digital Elevation Model)

- a. Mempersiapkan peta topografi (kontur) digital dengan skala 1:25.000 dari BAKOSURTANAL yang meliputi wilayah DAS Bagek Kembar, dimana peta termuat dalam format file program *autoCAD* (*.dwg).
- b. Meng-*eksport polyline* kontur peta topografi tersebut kedalam format file program *ArcView* (*.shp) dengan bantuan program *CAD2Shape* 1.0.
- c. Menggabungkan *theme* dari peta kontur yang sudah dalam format file (*.shp) tersebut dengan menggunakan program *ArcView* 3.3 dari fasilitas *Geo Processing wizard* dengan pilihan *option* adalah *merge theme together*.

- d. Membangkitkan hasil gabungan (*merge*) peta kedalam DEM dalam bentuk 3 dimensi pada menu file, setelah aktif pada menu *surface* pilih sub menu *create TIN* (*Triangular Irregular Network*)
 - e. Setelah berhasil membuat *TIN*, konservasi DEM dari format *TIN* kedalam struktur format *grid*. Identifikasi anomali atau yang disebut dengan *sink* dari DEM dengan memilih menu *Theme*, kemudian pilih sub menu *Convert to grid*.
 - f. Pilih menu AVSWAT, pilih menu *Automatic Delineation* yang kemudian akan muncul dialog box berjudul *watershed delineation*.
 - g. Dalam DEM *set up*, pilih gambar map terbuka untuk membuka file peta, kemudian pilih peta yang ingin dijadikan DEM.
 - h. Pilih perintah *properties* untuk memproyeksikan gambar DEM yang telah berhasil dibuat. Proyeksi dalam studi ini menggunakan metode UTM 1983 dengan zona 50 S.
 - i. Pilih perintah *apply* untuk mengkonfirmasi.
4. Membangkitkan jaringan sungai sintetis (*stream network*) dari DEM
 - a. Pada *dialog box Watershed Delineation – Stream Defination*, pada baris *thereshold area*, isikan suatu angka untuk mendefinisikan jaringan sungai (aliran sungai utama dan anak sungai) pada gambar. Terdapat batas minimal dan maksimal angka yang akan diisikan. Semakin kecil angka, maka semakin banyak anak sungai yang didefinisikan.
 - b. Pilih perintah *apply* untuk mengkonfirmasi.
 - c. Membandingkan/mengkoreksi peta jaringan sungai sentetis dengan peta sungai asli, apabila tidak terjadi perbedaan yang mencolok maka peta jaringan sungai sintetis dapat diterima.
 5. Membuat daerah tangkapan sungai (*Catchment Area*).
 - a. Pada *dialog box Watershed Delineation – outlet and inlet defination*, pilih perintah *add/remove/redefine* untuk mendefinisikan *outlet* utama dari DAS daerah studi dari *point outlet* pada peta *outlet* jaringan irigasi.
 - b. Pilih perintah *select* pada baris *Main Watershed Outlet(s) Selection and Defination* untuk memilih satu atau lebih *outlet* yang mendefinisikan untuk *outlet* utama dari *outlet-outlet* yang telah dibuat.
 - c. Pilih perintah *apply* untuk memproses deliniasi DAS daerah studi.
 - d. Dari proses tersebut akan didapatkan peta batas DAS daerah studi dalam format vektor (*.shp).

- e. Melakukan hitungan Parameter DAS, untuk mendapatkan data kontur yang berisi data statistik distribusi luasan dan elevasi untuk setiap DAS dan sub DAS daerah studi.
6. Pengolahan peta tata guna lahan.
 - a. Klasifikasi *polygon* tata guna lahan menurut model klasifikasi AVSWAT.
 - b. Menjalankan *extention* AVSWAT 2000 dari perangkat lunak ArcView 3.3.
 - c. Menjalankan menu *Land Use and Soil Defination* dari menu *toolbar* AVSWAT 2000, untuk melakukan analisa spasial peta tata guna lahan.
 - d. Dari peta tata guna lahan yang sudah ditambahkan ke dalam *view* didefinisikan menurut klasifikasi tata guna lahan AVSWAT sesuai dengan kategorinya.
 - e. Memproses klasifikasi ulang, sehingga akan didapatkan peta *grid* tata guna lahan menurut AVSWAT (AVSWAT *Landuse class*).
7. Pengolahan peta jenis tanah.
 - a. Klasifikasi *polygon* guna lahan menurut model klasifikasi AVSWAT.
 - b. Menjalankan *extention* AVSWAT 2000 dari perangkat lunak ArcView 3.3.
 - c. Menjalankan menu *Land Use and Soil Defination* dari *menu toolbar* AVSWAT 2000, untuk melakukan analisa spasial peta jenis tanah
 - d. Dari peta tata guna lahan yang sudah ditambahkan ke dalam *view* didefinisikan menurut klasifikasi tata guna lahan AVSWAT sesuai dengan kategorinya.
 - e. Memproses klasifikasi ulang, sehingga akan didapatkan peta *grid* jenis tanah menurut AVSWAT (AVSWAT *Soil class*).

Setelah membuat AVSWAT *Landuse Class* dan AVSWAT *Soil Class*, dilakukan *overlay* antara peta *grid* tata guna lahan dengan peta *grid* jenis tanah. Dari hasil *overlay* tersebut akan menghasilkan *Landuse Soil Report* yang mendeskripsikannya secara detail distribusi tata guna lahan dan jenis tanah DAS Bagek Kembar tersebut.

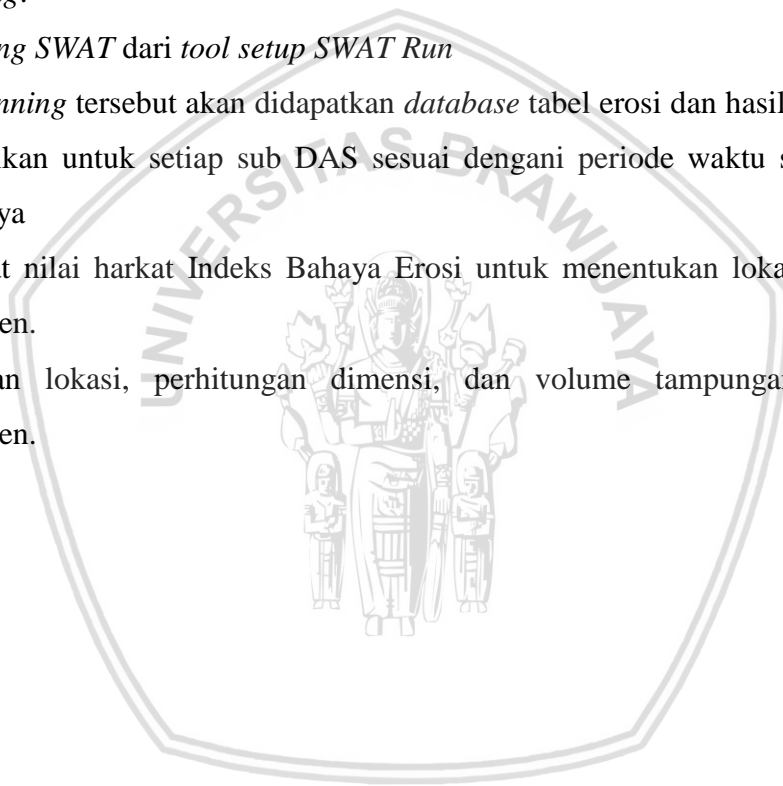
8. Menjalankan menu HRU (*Hydrologic Response Unit*)

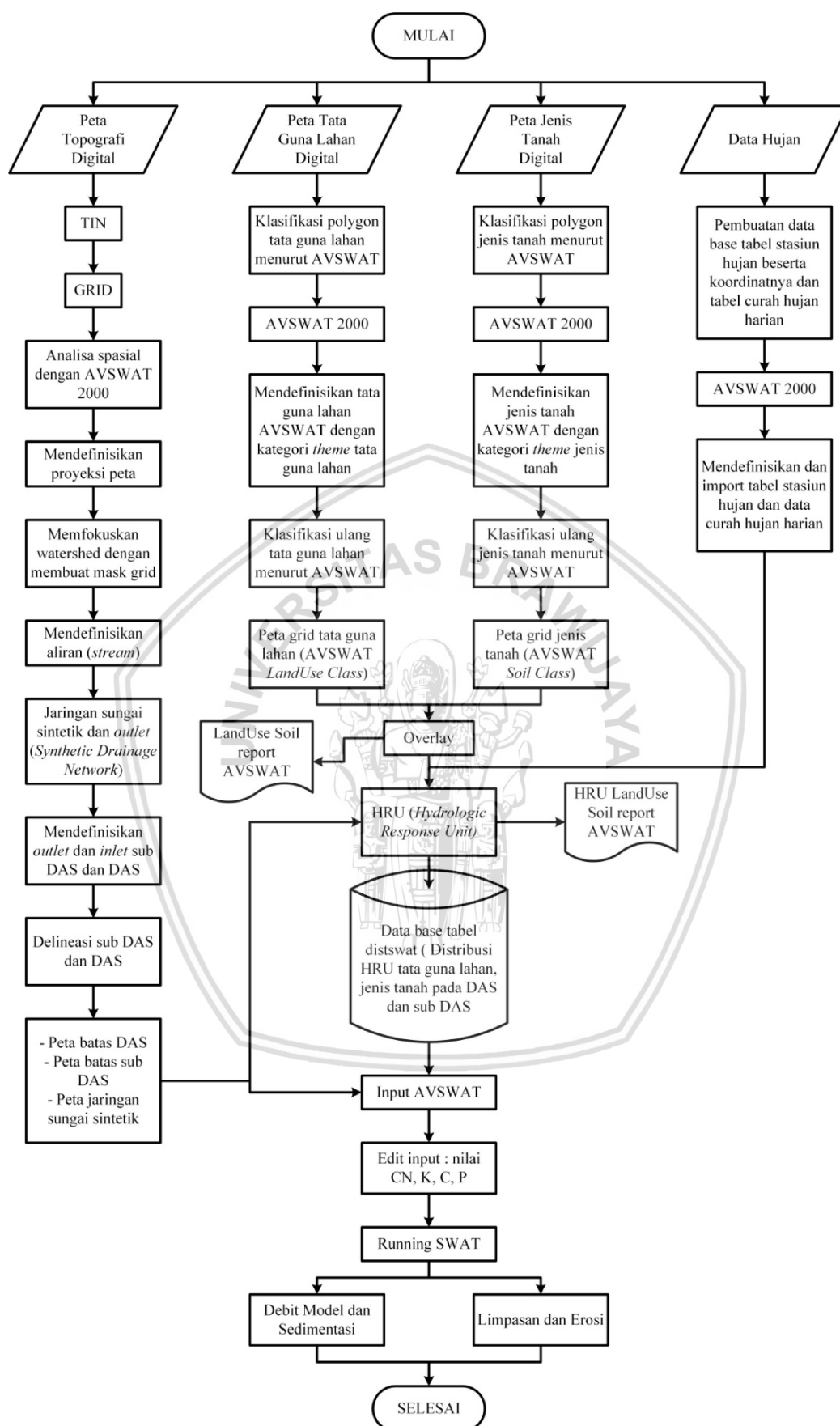
Menjalankan pada menu *HRU Distribution* dari *toolbar* AVSWAT 2000 untuk memproses distribusi *Hydrologic Response Unit* dari setiap sub DAS, sehingga akan dihasilkan *database* tabel *Distrswat* yang berisi informasi-informasi penyebaran distribusi tata guna lahan dan jenis tanah pada DAS dan sub DAS.

9. Pengolahan *database* pada AVSWAT 2000, meliputi curah hujan dan klimatologi. Sedangkan pembuatan *database* curah hujan dan klimatologi meliputi :

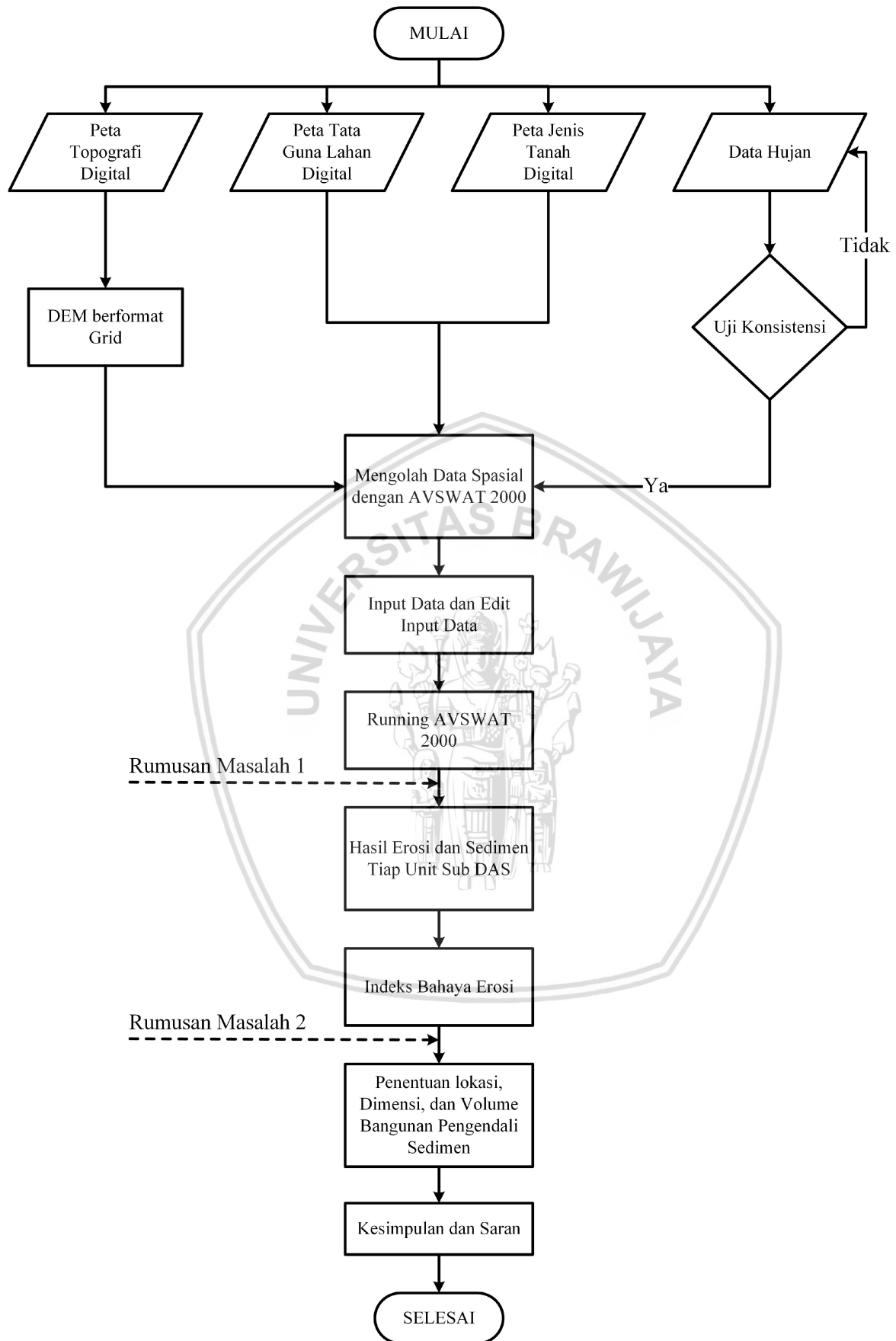
- a. Membuat koordinat unsur titik-titik stasiun curah hujan dan *database* curah hujan hariannya.

- b. Menjalankan menu *weather stations* dari menu *input* pada *toolbar* AVSWAT 2000 yang digunakan melakukan *import* data stasiun hujan dan data curah hujan harian
 10. *Input* AVSWAT dengan menjalankan *write all* yang akan melakukan *input* dari hasil proses data-data yang telah didefinisikan sebelumnya.
 11. Pengecekan data-data dari menu *sub basins* data pada menu *toolbar edit input* AVSWAT 2000.
 12. Menjalankan menu *RunSWAT* dari menu *simulation* pada *toolbar* AVSWAT 2000.
 - a. Melakukan *Set Up* untuk periode waktu simulasi, dan frekuensi waktu hasil *running*.
 - b. *Running SWAT* dari *tool setup SWAT Run*
- Dari hasil *running* tersebut akan didapatkan *database* tabel erosi dan hasil sedimentasi yang dipresentasikan untuk setiap sub DAS sesuai dengani periode waktu simulasi dan frekuensi waktunya
13. Membuat nilai harkat Indeks Bahaya Erosi untuk menentukan lokasi bangunan pengendali sedimen.
 14. Penentuan lokasi, perhitungan dimensi, dan volume tampungan bangunan pengendali sedimen.





Gambar 3.5 Diagram Alir Penyelesaian Perhitungan Limpasan, Debit Limpasan, Erosi, Sedimentasi Menggunakan Model AVSWAT 2000



Gambar 3.6 Diagram Alir Penyelesaian Skripsi

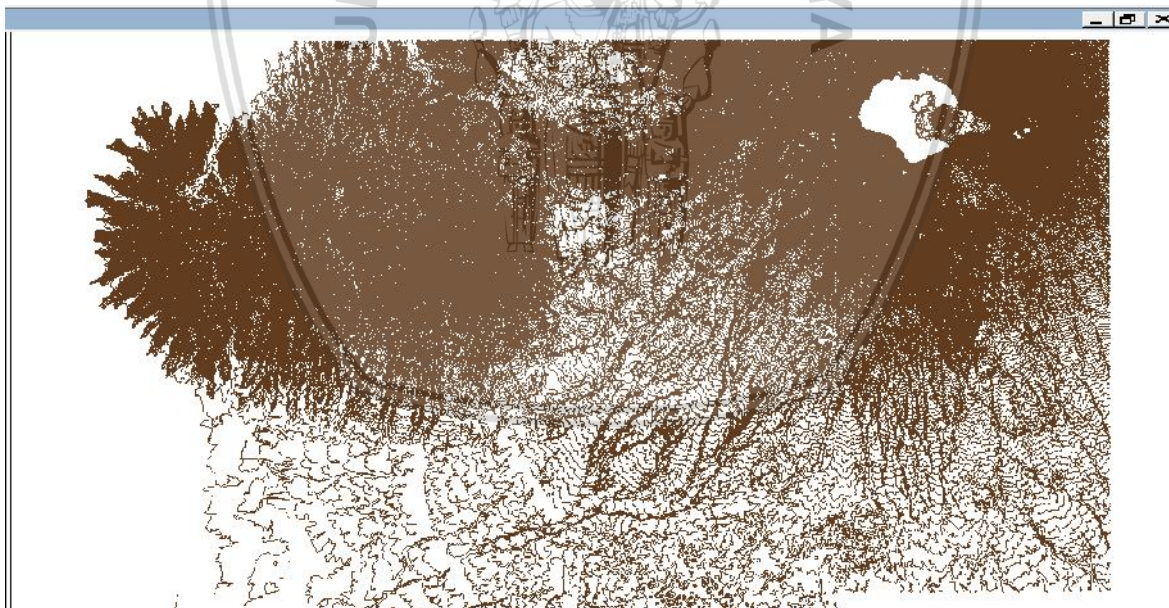
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Batas DAS dan Pembuatan DEM AVSWAT 2000

Dalam studi ini, wilayah yang dikaji akan menggunakan konsep daerah aliran sungai. Batas daerah studi merupakan DAS Bagek Kembar. Batasan ini memudahkan untuk mengidentifikasi pergerakan aliran air di daerah yang tinggi menuju ke daerah yang rendah.

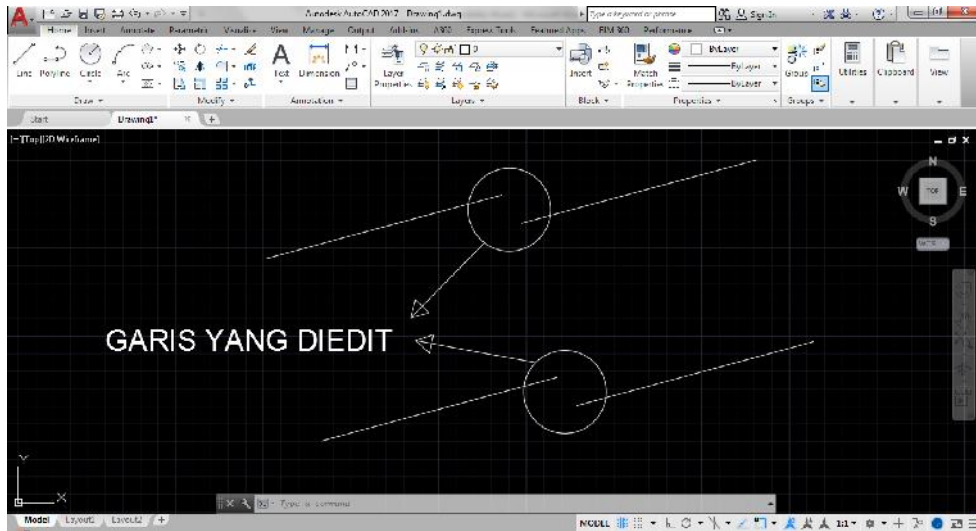
Penentuan batas DAS pada studi ini menggunakan bantuan software *ArcView GIS 3.3*. Dalam menentukan batas DAS pada *ArcView GIS 3.3*, dibutuhkan beberapa *extension* sebagai alat bantu antara lain *Geo Processing Wizard*, *Spatial Analyst*, *Hydrologic Modelling*, *3D Analyst*, *Xtools* dan *AVSWAT 2000*. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penggambaran batas DAS :

1. Mempersiapkan peta topografi digital dengan skala 1 : 25.000 dari Bakosurtanal yang meliputi wilayah DAS Bagek Kembar. Format file dalam program *autocad (*.dwg)*.



Gambar 4.1 Tampilan Peta Kontur DAS Bagek Kembar

2. Site peta di atas akan digabungkan pada Autocad sesuai dengan koordinat pertemuannya yaitu koordinat *Universal Transfer Mercator (UTM)*.
3. Selanjutnya hasil dari penggabungan peta tidak sepenuhnya tergabung. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pemeriksaan dan perbaikan yakni proses *editing* seperti pada gambar 4.2.

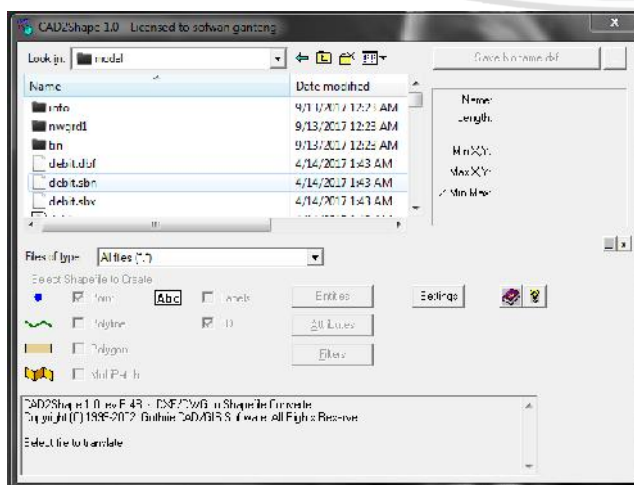


Gambar 4.2 Tampilan Proses Editing

Pada proses ini yang perlu diperhatikan adalah:

- 1) Pemeriksaan terhadap jenis garis yang terdapat pada tiap-tiap *site* peta yang digabung. Apabila jenis garis berupa *polyline*, maka garis tersebut tidak perlu di_*edit*. Sedangkan bila terdapat jenis garis berupa *3D polyline*, maka garis tersebut harus di_*explode* (pemisahan) agar jenis garisnya berubah menjadi *line*.
- 2) Pada tepi pertemuan peta gabungan, terdapat garis yang tidak tersambung secara sempurna. Garis ini perlu perbaikan agar tergabung secara sempurna.
- 3) Selanjutnya semua garis dapat di *joint* (penggabungan), agar pada semua garis kontur didapatkan jenis garis yang sama yaitu *polyline*.

4. Format file dalam program autocad (*.dwg). Setelah file diolah dengan *autocad*, selanjutnya file tersebut disimpan ke dalam format (*.dwg). Kemudian peta di ekspor *polyline* kontur ke dalam format fileoprogram *ArcView* (*.shp) dengan program *CAD2Shape* 1.0. Contoh tampilan program ini pada Gambar 4.3.



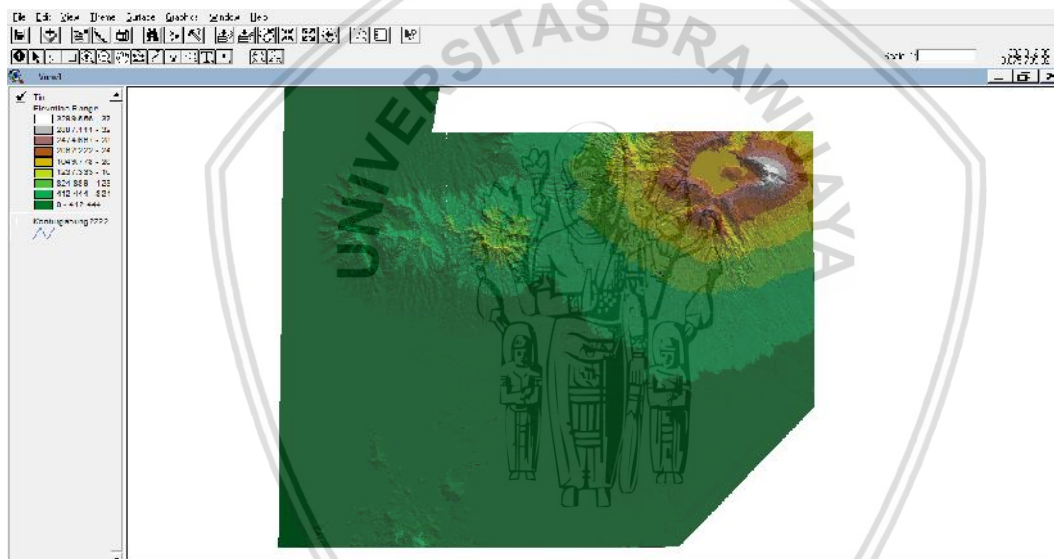
Gambar 4.3 Tampilan CAD2Shape

5. Hasil file yang didapatkan pada program *CAD2Shape 1.0* adalah berformat (*.shp), sesuai dengan layer yang dipilih. Dalam hal ini layer yang di ekspor *polyline* yaitu layer topografi.

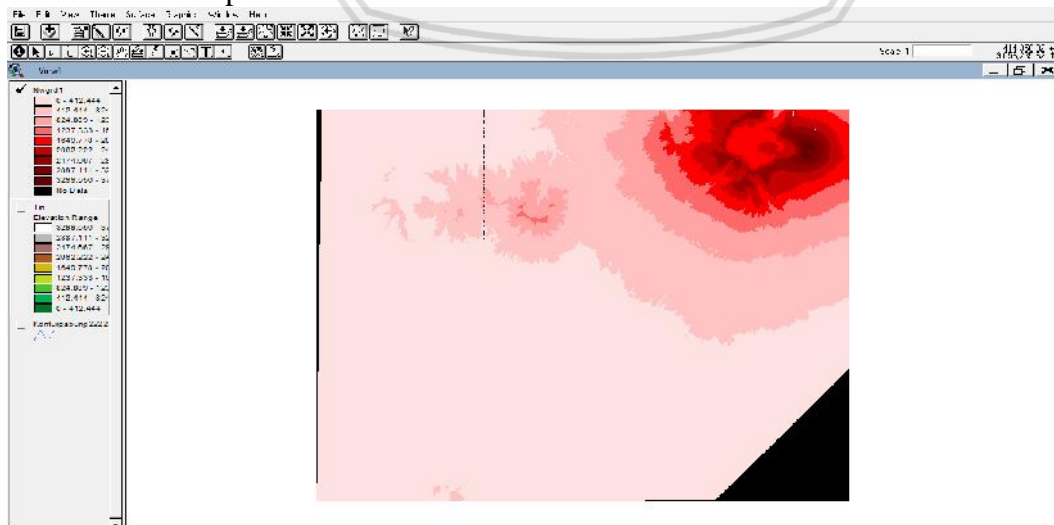
6. Selanjutnya menjalankan program *ArcView GIS 3.3* dan membuat view untuk batas DAS. Kemudian mengatur sistem proyeksi yang digunakan pada *view properties*. Kontur dan sungai yang sudah dalam format file (*.shp) tersebut di *input*.

7. Hasil penggabunga peta, dibangkitkan ke dalam DEM dengan bentuk 3 dimensi yaitu format TIN (*Triangular Irregular Network*) dari *toolbar surface* dengan pilihan *option* lalu *create TIN from features* seperti tampilan pada Gambar 4.4.

8. DEM dikonversi dari format TIN ke dalam struktur format *grid* dengan ukuran sel 25 m x 25 m. Perintah yang dipakai adalah *convert to grid* seperti pada tampilan Gambar 4.5.



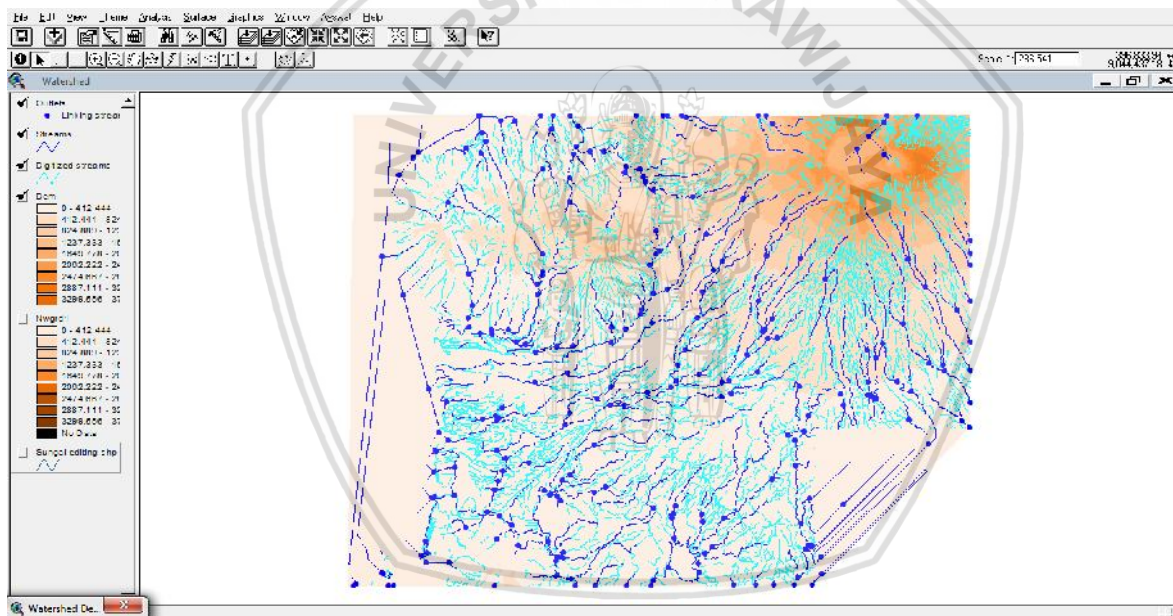
Gambar 4.4 Tampilan DEM dalam Format TIN



Gambar 4.5 Tampilan DEM dalam Format Grid

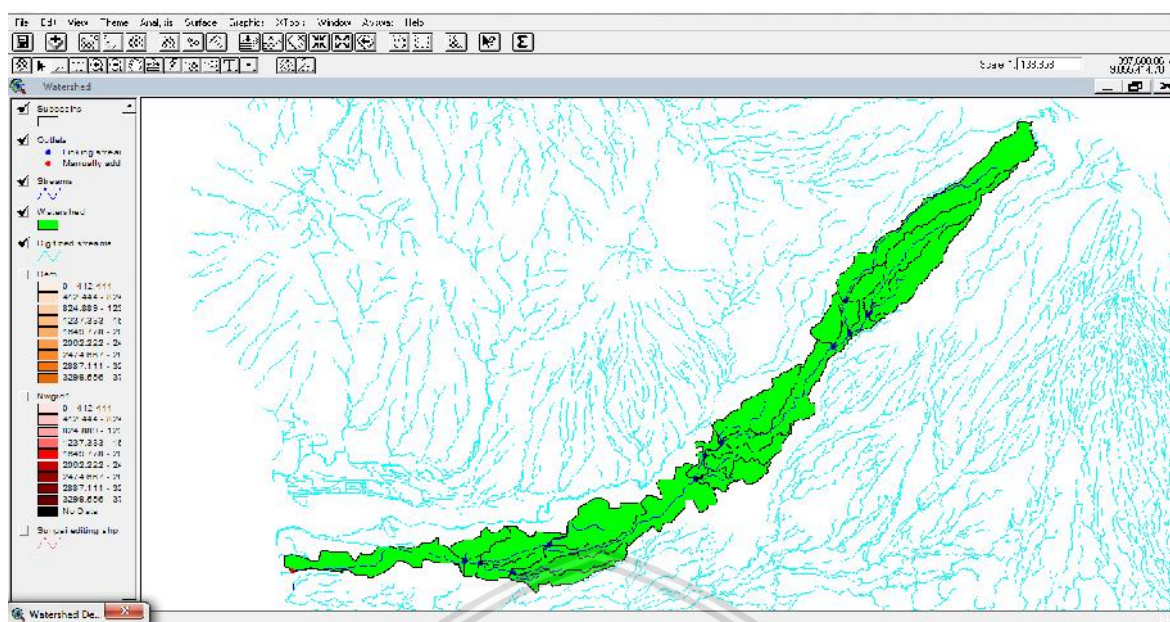
9. Deliniasi DAS atau disebut penelusuran batas DAS dilakukan dengan bantuan *extensions* AVSWAT 2000. Pada tahapan ini, *theme grid* yang sudah diidentifikasi dimasukkan ke dalam *DEM setup*. Selanjutnya sungai.shp di masukkan dalam pembuatan DEM, sehingga dengan tombol *apply* menghasilkan *theme DEM* dan *theme Digitized Stream Network*.

10. Pada tahapan deliniasi DAS adalah mendefinisikan sungai dan outlet dalam DEM. Proses ini akan menghasilkan *theme stream* (sungai) dan *theme outlet* (*outlet* sub DAS), dengan menginputkan nilai *threshold area* (daerah yang akan didefinisikan sebagai subDAS). Nilai *threshold area* ini disesuaikan dengan nilai *threshold area* yang dianjurkan oleh program, hingga didapatkan sungai, anak sungai dan *outlet* sub DAS yang hampir sama dengan peta sungai dari Bakosurtanal. Tujuan dari proses ini adalah untuk mendapatkan hasil sungai *digital* yang hampir sama dengan kondisi di lapangan. Tampilan tahapan ini adalah sebagai berikut Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Tampilan Hasil Pendefinisian Sungai dan Outlet

11. Tahapan terakhir pada deliniasi DAS adalah mendefinisikan pada batas DAS dan batas subdas dalam DEM. Pemilihan *outlet* DAS dengan tombol *select*, maka akan didapatkan *theme watershed* (batas DAS). Hal yang perlu diperhatikan adalah apabila terdapat *outlet* yang tidak terdapat pada *theme outlet*, maka perlu penambahan titik *outlet* dengan tombol *add* pada *toolbar watershed delineation*. Namun bila terdapat outlet yang tidak diinginkan maka dapat dilakukan penghapusan titik *outlet* dengan tombol *remove* (hapus).



Gambar 4.7 Tampilan Hasil Pendefinisian Batas DAS dan Sub DAS

12. Data *spasial* dan *atribut* yang didapatkan dalam semua proses pembangkitan DEM dan deliniasi DAS dengan *extensions AVSWAT 2000*, akan digunakan pada tahapan analisa data spasial dan data atribut selanjutnya.

13. Tabel atau *atribut* hasil dari pembangkitan DEM dan deliniasi DAS dengan *extensions AVSWAT 2000*, perlu dipindahkan ke dalam *worksheet* program *Excel* supaya dapat diolah ataupun diubah. Adapun proses yang perlu dilakukan sebagai berikut :

- Aktifkan tabel yang ingin ditransfer dalam *Arcview 3.3*.
- Pada *toolbar file* pilih *export*, kemudian pilih *format* yang diinginkan. Dalam hal ini, *format exportnya* yaitu *dBASE*.
- Simpan *filenya* dan beri nama *file*, maka *file* ini dapat dibuka pada program *excel* untuk diedit.
- Selanjutnya proses *export* ini digunakan seterusnya pada kondisi yang sama.

4.2. Pengolahan Data Hujan

Pengaruh hujan terhadap kualitas air pada DAS dapat bersifat langsung dan tidak langsung. Pengaruh langsung adalah melalui tenaga kinetis air hujan, dan pengaruh tidak langsung ditentukan oleh pengaruhnya terhadap pertumbuhan vegetasi. Sedangkan parameter iklim yang dikumpulkan dalam studi ini menggunakan pengaruh iklim yang bersifat langsung yaitu hujan.

Data hujan dibutuhkan dalam program AVSWAT 2000 untuk memperoleh nilai presipitasi, evaporasi, transpirasi, aliran permukaan, aliran lateral, aliran sungai, dan sebagainya yang berhubungan dengan air dalam pemodelan siklus hidrologi. Data hujan

juga dibutuhkan sebagai referensi awal pembangkitan data hujan yang digunakan dalam periode simulasi model.

Data hujan yang digunakan dalam studi ini adalah data hujan di daerah Bagek Kembar. Banyaknya stasiun hujan yang digunakan berjumlah 3 stasiun hujan. Dengan jangka waktu 10 tahun yakni antara 2000-2009.

Ketiga Stasiun Hujan itu adalah:

1. Narmada ± 156
2. Keru ± 288.13
3. Sesaot ± 250

4.2.1. Uji Konsistensi Data Hujan

4.2.1.1. Lengkung Massa Ganda (*Double Mass Curve*)

Data-data hujan harian tiap-tiap stasiun selama 10 tahun terlebih dahulu diuji kekonsistenan datanya dengani analisa kurva massa ganda seperti yang dijelaskan dalam bab kajian pustaka. Uji ini bertujuan untuk membandingkan data dari stasiun yang diamati dengan stasiun sekitarnya. Adapun stasiun pengamatan hujan yang digunakan untuk mengambil data hujan dari DAS Bagek Kembar meliputi 3 stasiun hujan. Sebaran lokasi dan pengaruh masing-masing pada stasiun hujan dijelaskan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1

Lokasi Stasiun Hujan di DAS Bagek Kembar

NO	NAME	KOORDINAT		ELEVATION
		XPR	YPR	
1	Narmada	411966.98484	9051489.63718	156.00
2	Keru	418627.00807	9053560.70572	288.13
3	Sesaot	415992.20289	9056473.23439	250.00

Sumber : Pengolahan data

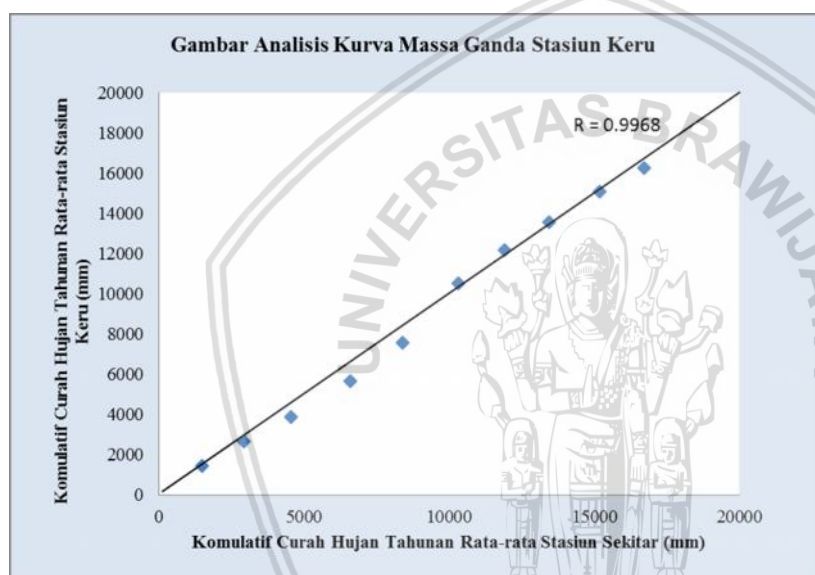
Hasil pengujian data hujan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik dalam Tabel 4.2 - 4.4 dan Gambar 4.8 - 4.10. Dari grafik-grafik uji konsistensi data hujan tidak ditemukan data yang terlalu menyimpang sehingga data hujan dianggap konsisten dan dapat digunakan untuk perhitungan limpasan permukaan, aliran lateral, kandungan air tanah, dan debit air di saluran utama dalam model AVSWAT 2000.

Tabel 4.2

Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Keru

Tahun	Hujan Tahunan (mm)			Kumulatif Sta. Keru	Rata-Rata Sta. Pembanding	Kumulatif Sta. Pembanding
	Sta. Keru	Sta. Sesaot	Sta. Narmada			
2001	1460	1808.4	1563.9	1460	1686.15	1686.15
2002	1187.9	1846.3	1417.7	2647.9	1632	3318.15
2003	306.6	1557.8	1961.4	2954.5	1759.6	5077.75
2004	713	2753.1	1897.4	3667.5	2325.25	7403
2005	1894.1	2597.3	1537.5	5561.6	2067.4	9470.4
2006	2976.44	2753.2	1626.1	8538.04	2189.65	11660.05
2007	1642.9	1847.2	1713.9	10180.94	1780.55	13440.6
2008	1413	2079.3	1379.4	11593.94	1729.35	15169.95
2009	1483.8	2096.1	1780.2	13077.74	1938.15	17108.1
2010	1186.48	1694.54	1736.6	14264.22	1715.57	18823.67

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.8 Grafik Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Keru

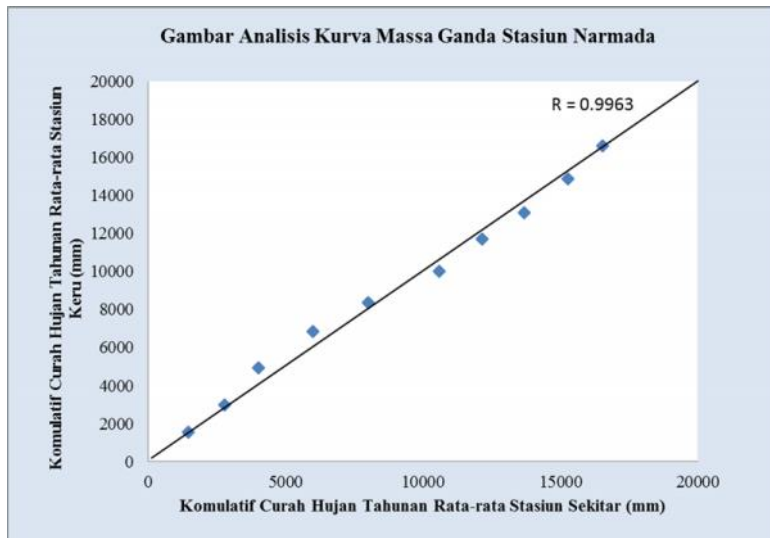
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.3

Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Narmada

Tahun	Hujan Tahunan (mm)			Kumulatif Sta. Narmada	Rata-Rata Sta. Pembanding	Kumulatif Sta. Pembanding
	Sta. Keru	Sta. Sesaot	Sta. Narmada			
2000	1460.00	1808.40	1563.90	1563.90	1453.36	1453.36
2001	1187.90	1846.30	1417.70	2981.60	1332.47	2785.83
2002	306.60	1557.80	1961.40	4943.00	1236.32	4022.15
2003	713.00	2753.10	1897.40	6840.40	1992.49	6014.64
2004	1894.10	2597.30	1537.50	8377.90	1985.97	8000.61
2005	2976.44	2753.20	1626.10	10004.00	2589.50	10590.11
2006	1642.90	1847.20	1713.90	11717.90	1560.33	12150.44
2007	1413.00	2079.30	1379.40	13097.30	1538.22	13688.66
2008	1483.80	2096.10	1780.20	14877.50	1580.34	15269.00
2009	1186.48	1694.54	1736.60	16614.10	1271.06	16540.06

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.9 Grafik Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Narmada

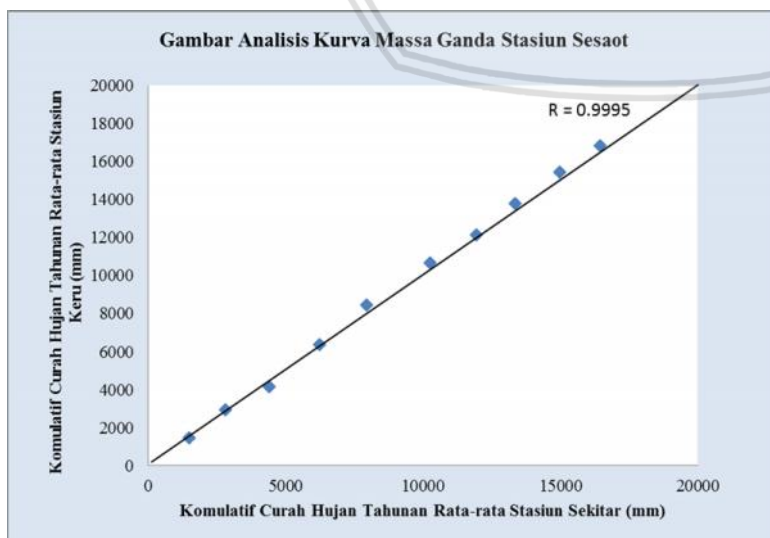
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.4

Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Sesaot

Tahun	Hujan Tahunan (mm)			Kumulatif Sta. Sesaot	Rata-Rata		Kumulatif Sta. Pembanding
	Sta. Keru	Sta. Sesaot	Sta. Narmada		Sta. Pembanding	Sta. Pembanding	
2000	1460.00	1808.40	1563.90	1446.72	1511.95	1511.95	
2001	1187.90	1846.30	1417.70	2923.76	1302.80	2814.75	
2002	306.60	1557.80	1961.40	4170.00	1593.90	4408.65	
2003	713.00	2753.10	1897.40	6372.48	1839.95	6248.60	
2004	1894.10	2597.30	1537.50	8450.32	1715.80	7964.40	
2005	2976.44	2753.20	1626.10	10652.88	2301.27	10265.67	
2006	1642.90	1847.20	1713.90	12130.64	1678.40	11944.07	
2007	1413.00	2079.30	1379.40	13794.08	1396.20	13340.27	
2008	1483.80	2096.10	1780.20	15470.96	1632.00	14972.27	
2009	1186.48	1694.54	1736.60	16826.59	1461.54	16433.81	

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.10 Grafik Uji Konsistensi Data Metode Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Sesaot

Sumber : Hasil Perhitungan

4.2.1.2. RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Tabel 4.5

Uji Konsistensi Data Metode RAPS Stasiun Keru

Tahun	Yi	Sk*	Sk**	Sk**
2000	1460.00	33.58	0.05	0.05
2001	1187.90	-238.52	-0.34	0.34
2002	306.60	-1119.82	-1.57	1.57
2003	713.00	-713.42	-1.00	1.00
2004	1894.10	467.68	0.66	0.66
2005	2976.44	1550.02	2.18	2.18
2006	1642.90	216.48	0.30	0.30
2007	1413.00	-13.42	-0.02	0.02
2008	1483.80	57.38	0.08	0.08
2009	1186.48	-239.94	-0.34	0.34
Jumlah	14264.22	Sk** min	-1.57	
Rerata	1426.42	Sk** max	2.18	
n	10	R	3.75	
S	711.04	Q	2.18	

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil analisa pada tabel di atas, diketahui bahwa nilai $Q = 2.180$ dan nilai $R = 3.755$. Maka nilai Q/n hitung = 0.689 dan R/n hitung = 1.187 ; dimana n merupakan jumlah data. Untuk *level of sigficant* (tingkat kepercayaan) 95%, maka nilai Q/n kritis = 1.14 dan R/n kritis = 1.28 . Berdasarkan nilai tersebut, maka untuk kriteria Q/n kritis $> Q/n$ hitung dan R/n kritis $> R/n$ hitung, disimpulkan bahwa data hujan Stasiun Keru adalah konsisten.

Tabel 4.6

Uji Konsistensi Data Metode RAPS Stasiun Sesaot

Tahun	Yi	Sk*	Sk**	Sk**
2000	1808.40	-294.92	-0.41	0.41
2001	1846.30	-257.02	-0.36	0.36
2002	1557.80	-545.52	-0.77	0.77
2003	2753.10	649.78	0.91	0.91
2004	2597.30	493.98	0.69	0.69
2005	2753.20	649.88	0.91	0.91
2006	1847.20	-256.12	-0.36	0.36
2007	2079.30	-24.02	-0.03	0.03
2008	2096.10	-7.22	-0.01	0.01
2009	1694.54	-408.78	-0.57	0.57
Jumlah	21033.24	Sk** min	-0.77	
Rerata	2103.32	Sk** max	0.91	
n	10	R	1.68	
S	443.79	Q	0.91	

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil analisa pada tabel di atas, diketahui bahwa nilai $Q = 0.914$ dan nilai $R = 1.681$. Maka nilai Q/n hitung = 0.289 dan R/n hitung = 0.532 ; dimana n merupakan jumlah data.

Untuk level of sigificant (tingkat kepercayaan) 95%, maka nilai Q/n kritis = 1.14 dan R/n kritis = 1.28. Berdasarkan nilai tersebut, maka untuk kriteria Q/n kritis > Q/n hitung dan R/n kritis > R/n hitung, disimpulkan bahwa data hujan Stasiun Keru adalah konsisten.

Tabel 4.7

Uji Konsistensi Data Metode RAPS Stasiun Narmada

Tahun	Yi	Sk*	Sk**	Sk**
2000	1563.90	-97.51	-0.14	0.14
2001	1417.70	-243.71	-0.34	0.34
2002	1961.40	299.99	0.42	0.42
2003	1897.40	235.99	0.33	0.33
2004	1537.50	-123.91	-0.17	0.17
2005	1626.10	-35.31	-0.05	0.05
2006	1713.90	52.49	0.07	0.07
2007	1379.40	-282.01	-0.40	0.40
2008	1780.20	118.79	0.17	0.17
2009	1736.60	75.19	0.11	0.11
Jumlah	16614.10	Sk** min	-0.40	
Rerata	1661.41	Sk** max	0.42	
n	10	R	0.82	
S	192.42	Q		0.42

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil analisa pada tabel di atas, diketahui bahwa nilai $Q = 0.422$ dan nilai $R = 0.819$. Maka nilai Q/n hitung = 0.133 dan R/n hitung = 0.259; dimana n merupakan jumlah data. Untuk level of sigificant (tingkat kepercayaan) 95%, maka nilai Q/n kritis = 1.14 dan R/n kritis = 1.28. Berdasarkan nilai tersebut, maka untuk kriteria Q/n kritis > Q/n hitung dan R/n kritis > R/n hitung, disimpulkan bahwa data hujan Stasiun Keru adalah konsisten

4.2.2. Hujan Rerata Daerah

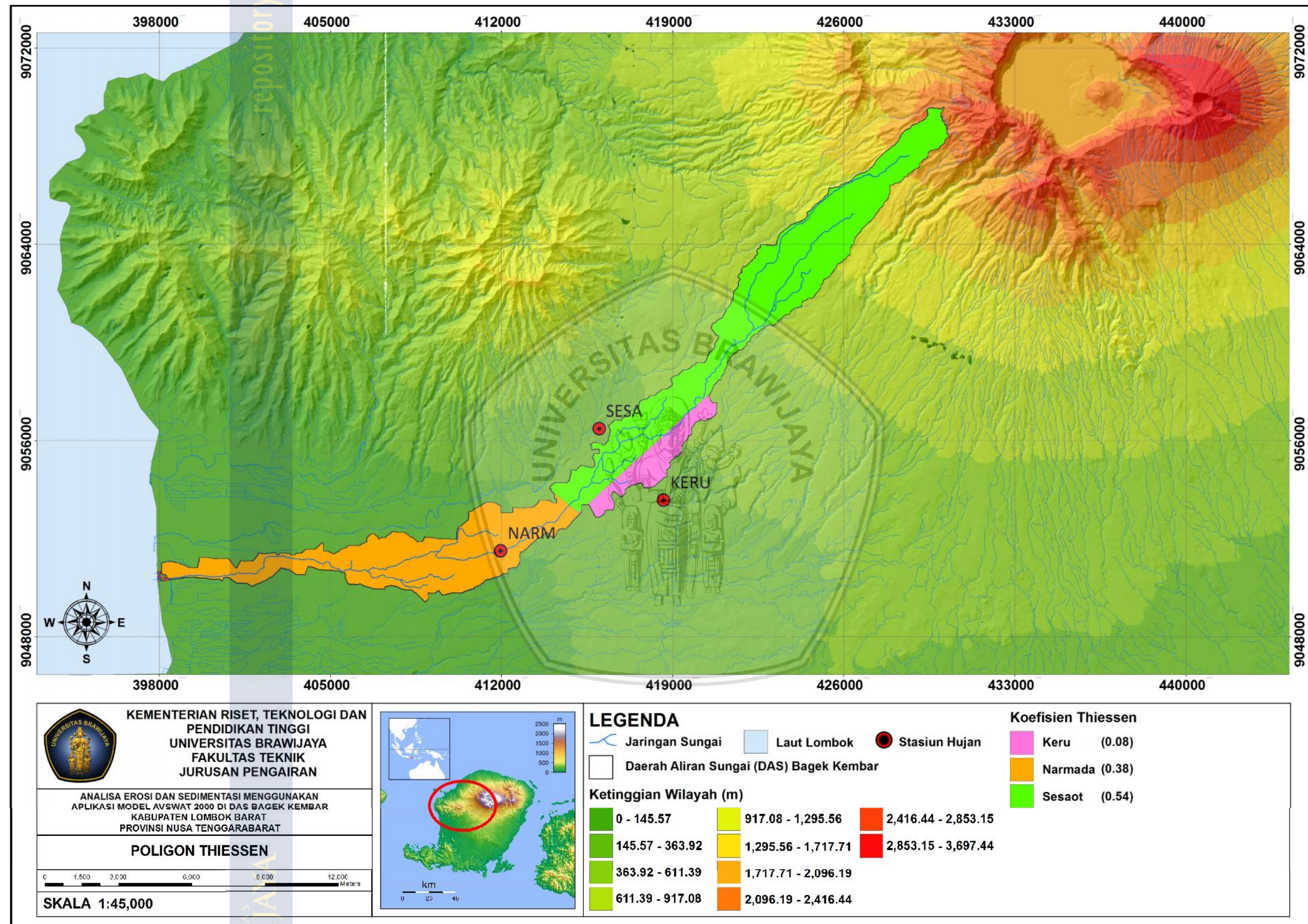
Hasil perhitungan bobot poligon thiessen pada masing-masing stasiun hujan pada DAS Bagek Kembar ditunjukkan pada Tabel 4.8. Peta daerah pengaruh poligon Thiessen dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Tabel 4.8

Bobot Poligon Thiessen Pada Masing-masing Stasiun Hujan

Nama Stasiun	Luas (Km ²)	Bobot
Sesaot	36.41595	0.54
Narmada	25.33311	0.38
Keru	5.41214	0.08

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.11 Peta Daerah Pengaruh Poligon Thiessen

Sumber : Pengolahan data

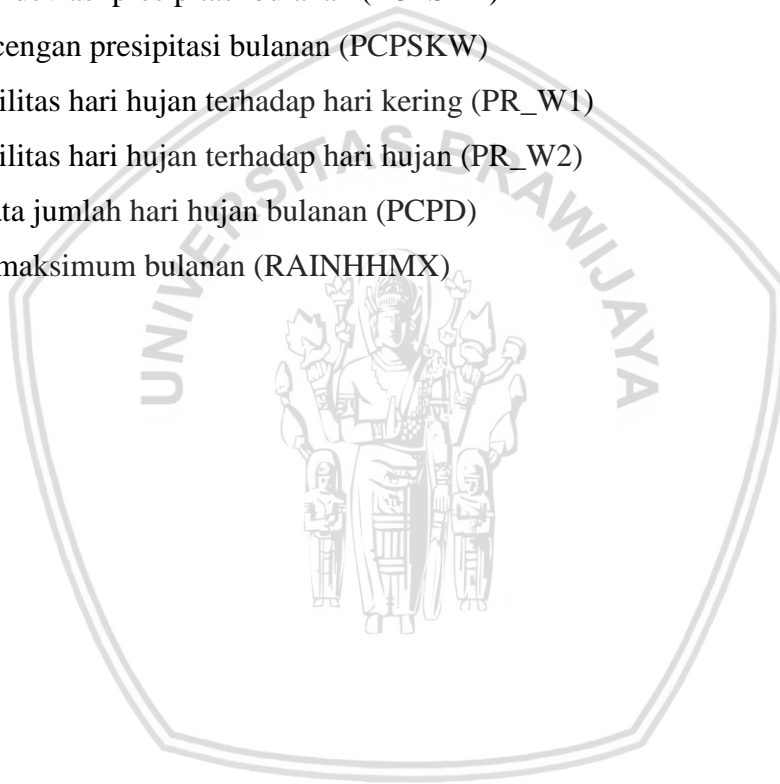


4.2.3. Pengolahan Data Hujan untuk Input Data AVSWAT 2000

Input data hujan dalam AVSWAT 2000 digunakan untuk memperoleh nilai-nilai statistik presipitasi, standart deviasi dan kepengcengan, probabilitas, dan curah hujan maksimum.

Untuk maksud diatas, terlebih dahulu data hujan dikelompokkan dalam susunan bulanan selama jangka waktu 10 tahun seperti dijelaskan pada gambar 4.12. Setelah pengelompokan curah hujan harian menurut bulan selesai, dilakukan perhitungan-perhitungan statistik pada data hujan untuk mendapatkan :

1. Rata-rata total presipitasi bulanan (PCPMM)
2. Standar deviasi presipitasi bulanan (PCPSTD)
3. Kepengcengan presipitasi bulanan (PCPSKW)
4. Probabilitas hari hujan terhadap hari kering (PR_W1)
5. Probabilitas hari hujan terhadap hari hujan (PR_W2)
6. Rata-rata jumlah hari hujan bulanan (PCPD)
7. Hujan maksimum bulanan (RAINHHMX)



DATA CURAH HUJAN HARIAN DAS BAGEK KEMBAR

Peta No :
 Koordinat : XPR = 415992.2028 YPR = 9056473.2343
 Nama Stasiun : Sesaot
 Elevasi : 250 Tahun: 2000

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	→
1	5.6	1	20.6	0.3	→
2	12.5	18	12.4	6.2	→
3	0	3.9	0	25.8	→
4	0.6	29.1	0.5	18.1	→
↓	↓	↓	↓	↓	

DATA CURAH HUJAN HARIAN DAS BAGEK KEMBAR

Peta No :
 Koordinat : XPR = 415992.2028 YPR = 9056473.2343
 Nama Stasiun : Sesaot
 Elevasi : 250 Tahun: 2001

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	→
1	30.4	22.3	0	10	→
2	54.4	23.6	0	0	→
3	23.5	5.4	11	11.3	→
4	0	10.4	0	0.4	→
↓	↓	↓	↓	↓	

DATA CURAH HUJAN BULANAN DAS BAGEK KEMBAR

Peta No :
 Koordinat : XPR = 415992.2028 YPR = 9056473.2343
 Nama Stasiun : Sesaot
 Elevasi : 250 Bulan: Januari

Tanggal	2000	2001	2002	2003	→
1	5.6	30.4	31	1.2	→
2	12.5	54.4	32.9	42.3	→
3	0	23.5	5	1.4	→
4	0.6	0	14	26.7	→
↓	↓	↓	↓	↓	

DATA CURAH HUJAN BULANAN DAS BAGEK KEMBAR

Peta No :
 Koordinat : XPR = 415992.2028 YPR = 9056473.2343
 Nama Stasiun : Sesaot
 Elevasi : 250 Bulan: Februari

Tanggal	2000	2001	2002	2003	→
1	1	22.3	19.5	0.1	→
2	18	23.6	0	3.7	→
3	3.9	5.4	11	0	→
4	29.1	10.4	2.8	6.5	→
↓	↓	↓	↓	↓	

Gambar 4.12 Contoh pengelompokkan data hujan
 Sumber : Pengolahan data

Contoh format perhitungannya adalah sebagai berikut :

- $$R_{day,mon} = 295.6 + 540.4 + 323.8 + \dots + 369.2$$

$$= 3168.7$$
- $$Days_{wet, i} = 25 + 28 + 23 + 25 + \dots + 22$$

$$= 224$$
- $$N = 31 + 31 + 31 + 31 + \dots + 31$$

$$= 310$$
- $$yrs = 10$$

Tabel 4.9

Contoh Perhitungan Susunan Data Hujan Bulanan pada Bulan Januari Stasiun Sesaot

Tanggal	Bulan Januari									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	5.6	30.4	31	1.2	0	0	15.7	24.7	24.6	0
2	12.5	54.5	32.9	42.3	2.7	0	0	27.8	14.6	0
3	0	23.5	5	1.4	2.3	0	37.2	19.3	7.7	0
4	0.6	0	14	26.7	0	0	26.1	0.2	20.4	0
5	28.3	23.3	0	32.9	5.6	0	34.2	4.8	0	10.7
6	9.3	0.7	11.2	4.9	2.2	7.5	4.8	0	0	0.8
7	8.8	0.2	12.6	35.7	0.2	0	18	0	0	18
8	6	15.7	12	17	2.6	6.5	10.6	0	3.2	0.3
9	0	2.7	0	37.3	18.6	14	1.5	0	9.1	39
10	0	74.5	0	5.7	12.4	2	4.2	4.2	8.4	28.4
11	56.1	32.3	0	12.7	7.8	0	9.5	0	3.2	1.3
12	21.7	33.4	0	16.3	3.4	0	0.6	0	0	2.6
13	0.3	22.4	29	62.6	0	0	0.7	0	0	26
14	2	3.9	3.5	7.7	24.3	3.5	0.9	0.7	6.4	8.7
15	0	13.5	15.4	2.4	0	16.2	3.1	0	6.1	18.4
16	0	0.7	0.8	19.9	1	4.1	24.3	0	40.7	30.1
17	2.2	2.2	7	0	0	0	2.2	0	8.1	13.5
18	2.7	0	33.5	0	24.7	1.5	17	0	0	0
19	3.1	2.9	1	0	29.4	36	7	0.8	1	0.5
20	2	30.1	1.1	10.5	12.8	50.7	0	5.3	0	0
21	38.5	15.5	14	0	13	2	5.5	13	5.7	0
22	20	50	8	8.5	68	0	15.8	1.7	0.4	0.3
23	4.7	7.1	23.8	7.6	8.8	0	3.9	0.9	0	0.4
24	4.3	0.8	19.1	3	0.7	0	11.8	0	14.5	6.4
25	2.2	51.2	19	0	47.4	0	9.9	0	0	1
26	5.8	30.5	9.4	0	0.5	0	19.6	0	8.6	0
27	0	10.1	0	6	30	0	6.3	0.7	15.4	0
28	1	2.3	0	16	2.8	1	18.6	0	1.2	78.7
29	3.1	0	17.5	8.1	58.7	2.5	0	0	1.7	65.3
30	41.8	5.7	3	25.1	31.8	2.2	0	0	15.4	11.2
31	13	0.3	0	24.5	0	5.8	0	7	0	7.6
Total	295.6	540.4	323.8	436	411.7	155.5	309	111.1	216.4	369.2
Hari Hujan	25	28	23	25	25	15	26	14	21	22

Sumber : Pengolahan data

a. PCPMM

Rata-rata total presipitasi bulanan (mm), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\overline{R}_{mon} = \frac{\sum_{day=1}^N R_{day,mon}}{N} = \frac{3423.7}{10} = 316.87$$

b. PCPSTD

Standar deviasi presipitasi bulanan (mm), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{mon} = \sqrt{\frac{\sum_{day=1}^N (R_{day,mon} - \overline{R}_{mon})^2}{N}} = 14.55$$

c. PCPSKW

Kepencengan presipitasi bulanan, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$g_{mon} = \frac{\sum_{day, yrs}^N \overline{R_{mon}}}{\sum_{day, yrs}^N \overline{R_{mon}}} = 2.03$$

d. PR_W1

Probabilitas hari hujan mengikuti hari kering dalam bulan, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$PR_W1 = \frac{days_{W/D,i}}{days_{dry,i}} = 0.15$$

e. PR_W2

Probabilitas hari hujan yang mengikuti hari basah dalam bulan, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$PR_W2 = \frac{days_{W/W,i}}{days_{wet,i}} = 0.44$$

f. PCPD

Jumlah rata-rata hujan harian dalam bulan, parameter ini dirumuskan sebagai berikut :

$$\overline{d}_{wet,i} = \frac{\sum_{yrs} days_{wet,i}}{yrs} = 22.40$$

g. RAINHHMX

Hujan harian maksimum seluruh periode dalam bulan, nilai ini mewakili dari satu hari hujan maksimum dalam seluruh periode dalam bulan. Untuk contoh stasiun Sesaot curah hujan maksimum sebesar 78.70 mm pada bulan Januari.

Untuk data kelembapan relatif, radiasi sinar matahari dan kecepatan angin tidak dimasukkan, karena ketersediaan data kurang lengkap. Namun demikian program AVSWAT 2000 mampu membangkitkan data tersebut mengacu pada data hujan.

Semua data tersebut dirangkum dalam bentuk tabel untuk *input* data dalam AVSWAT 2000. *Input* data hujan dapat dilakukan melalui 2 cara, yakni melalui tampilan *edit file database* pada menu utama AVSWAT 2000 atau melalui file *database userwgn (*.wgn)*. Tabel *input* untuk AVSWAT 2000 terangkum dalam Tabel 4.10 – 4.12.

Tabel 4.10

Input Pengolahan Data Hujan Stasiun Sesaot

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
PCPMM	316.87	279.08	326.59	191.28	113.37	51.69	22.25	7.94	54.60	149.89	273.65	316.11
PCPSTD	14.55	15.57	17.28	11.52	10.39	6.94	4.58	1.49	7.64	12.65	14.74	15.55
PCPSKW	2.03	2.98	2.29	2.78	4.39	5.92	10.90	7.36	7.39	5.13	2.30	2.38
PR_W1	0.15	0.15	0.19	0.21	0.15	0.10	0.08	0.07	0.09	0.18	0.12	0.14
PR_W2	0.44	0.42	0.44	0.41	0.39	0.37	0.26	0.25	0.25	0.37	0.43	0.44
PCPD	22.40	19.90	20.40	17.00	10.20	6.00	3.40	2.70	6.00	12.60	17.90	21.90
RAINHHMX	78.70	98.60	97.50	74.00	87.40	67.50	66.20	13.80	93.00	123.40	95.50	95.90

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.11

Input Pengolahan Data Hujan Stasiun Keru

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
PCPMM	197.79	231.14	217.14	132.42	60.37	32.42	17.04	0.59	17.48	95.45	220.34	204.24
PCPSTD	14.44	20.93	14.11	10.99	6.26	5.57	4.23	0.19	2.43	9.27	14.64	11.23
PCPSKW	3.37	6.90	2.88	4.01	4.15	10.07	9.96	14.98	6.00	4.31	3.05	2.67
PR_W1	0.12	0.15	0.14	0.14	0.10	0.05	0.04	0.04	0.07	0.15	0.17	0.12
PR_W2	0.38	0.39	0.43	0.41	0.40	0.36	0.34	0.00	0.25	0.30	0.40	0.39
PCPD	11.30	13.10	13.40	10.00	5.80	3.40	1.90	1.10	3.60	6.90	13.00	14.50
RAINHHMX	95.00	250.00	85.00	80.00	39.70	76.70	47.60	3.10	25.80	85.00	106.70	79.90

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.12

Input Pengolahan Data Hujan Stasiun Narmada

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
PCPMM	219.08	231.50	228.21	193.80	113.43	49.32	10.21	4.35	53.34	70.65	258.60	228.92
PCPSTD	16.19	13.59	14.11	13.49	10.33	7.04	2.02	0.99	10.93	7.91	15.93	12.98
PCPSKW	5.86	2.56	2.85	2.87	4.04	6.10	7.24	8.52	8.53	5.59	3.42	2.72
PR_W1	0.23	0.20	0.22	0.20	0.14	0.08	0.04	0.03	0.04	0.17	0.18	0.19
PR_W2	0.38	0.38	0.41	0.41	0.34	0.25	0.11	0.08	0.07	0.26	0.44	0.39
PCPD	16.70	16.10	16.00	13.80	7.90	3.90	1.60	1.10	2.60	7.30	14.50	16.60
RAINHHMX	184.50	79.70	88.50	86.00	86.20	64.70	18.50	10.00	133.00	72.60	136.50	90.00

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3. Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah**4.3.1. Kondisi Sebaran Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah**

Sebarab tata guna lahan yang dipakai sebagai data eksisting adalah tata guna lahan pada tahun 2006 dan tahun 2009. Kondisi sebaran tata guna lahan dan jenis tanah di wilayah DAS Bagek Kembar disajikan dalam tabel dan gambar berikut ini :

Tabel 4.13

Sebaran Tata Guna Lahan DAS Bagek Kembar pada Tahun 2006

No.	Tata Guna Lahan	Luas		Luas (%)
		Km ²	Ha	
1	Hutan	30.82	3082.30	45.89
2	Pemukiman	5.66	565.71	8.42
3	Semak Belukar	11.23	1123.21	16.72
4	Lahan Kering	7.56	755.57	11.25
5	Sawah	11.89	1189.30	17.71
Total		67.16	6716.08	100.00

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

Tabel 4.14

Sebaran Tata Guna Lahan DAS Bagek Kembar pada Tahun 2009

No.	Tata Guna Lahan	Luas		Luas (%)
		Km ²	Ha	
1	Hutan	30.11	3011.11	44.83
2	Pemukiman	7.12	712.05	10.60
3	Semak Belukar	3.91	391.50	5.83
4	Lahan Kering	0.95	94.53	1.41
5	Sawah	15.28	1527.74	22.75
6	Perkebunan	9.79	979.16	14.58
Total		67.16	6716.08	100.00

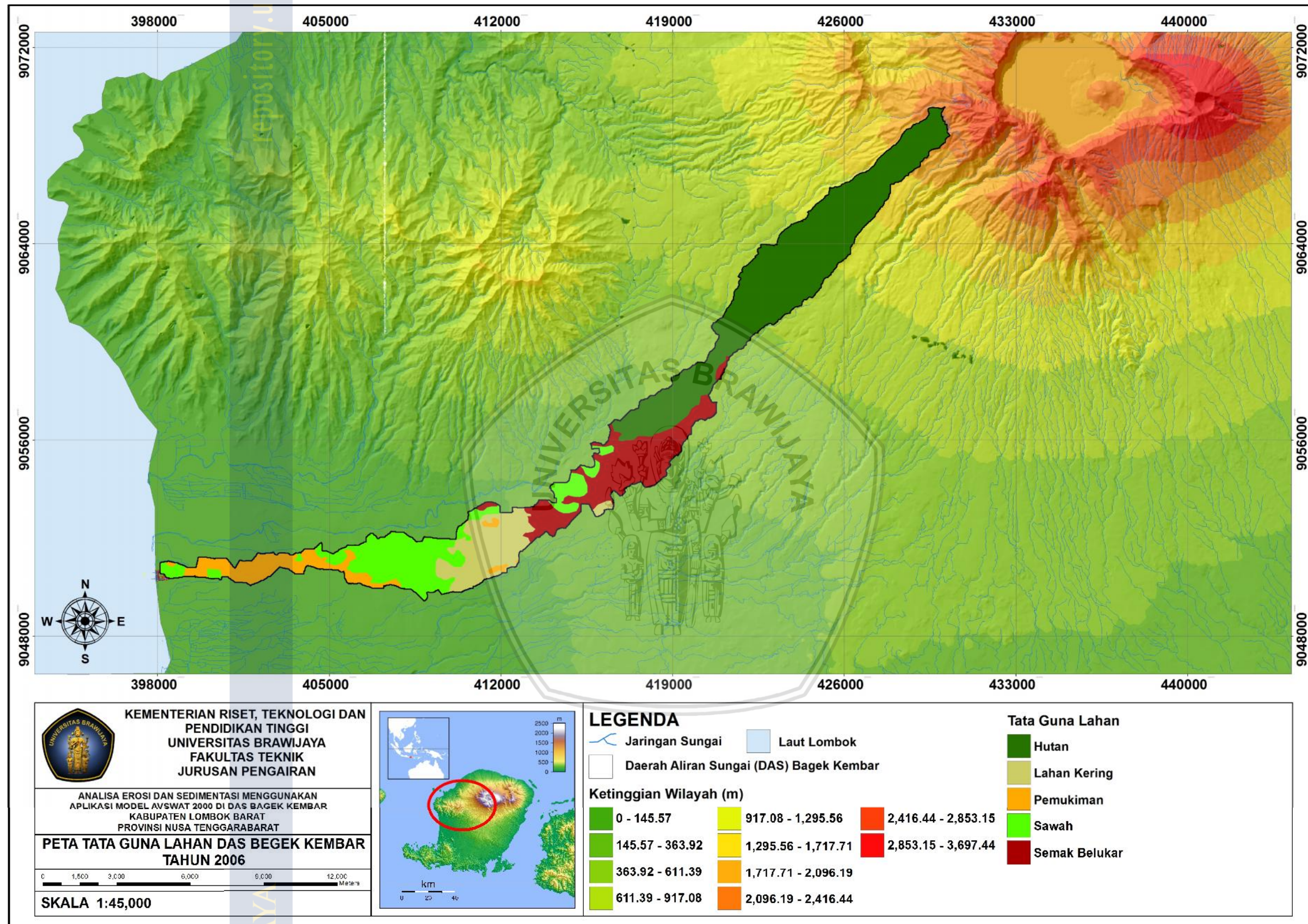
Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

Tabel 4.15

Sebaran Jenis Tanah DAS Bagek Kembar

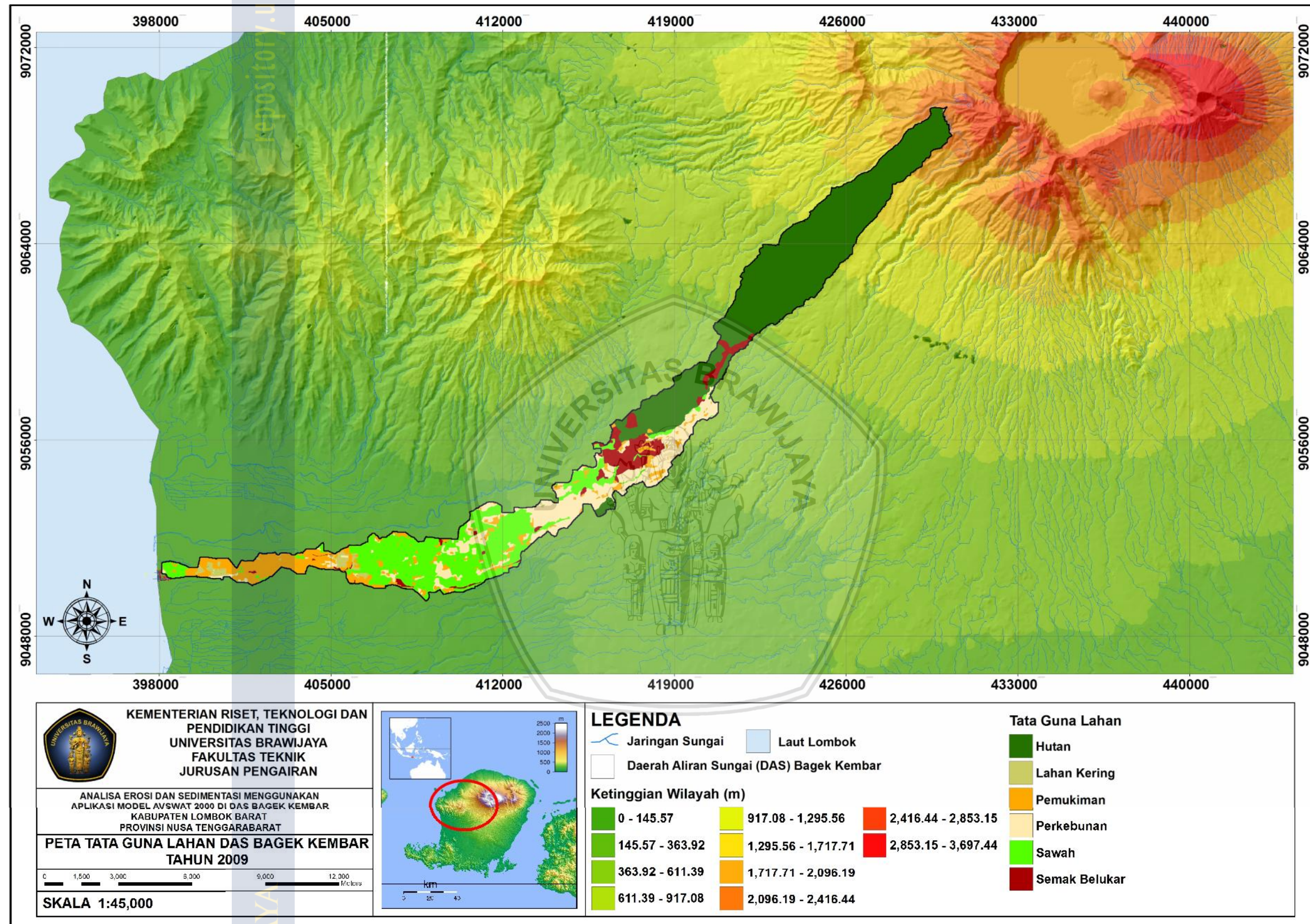
No.	Jenis Tanah	Luas		Luas (%)
		Km ²	Ha	
1	Litosol	16.40	1639.78	24.42
2	Mediteran	8.47	847.49	12.62
3	Aluvial	37.06	3706.50	55.19
4	Regosol	5.22	522.32	7.78
Total		67.16	6716.08	100.00

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

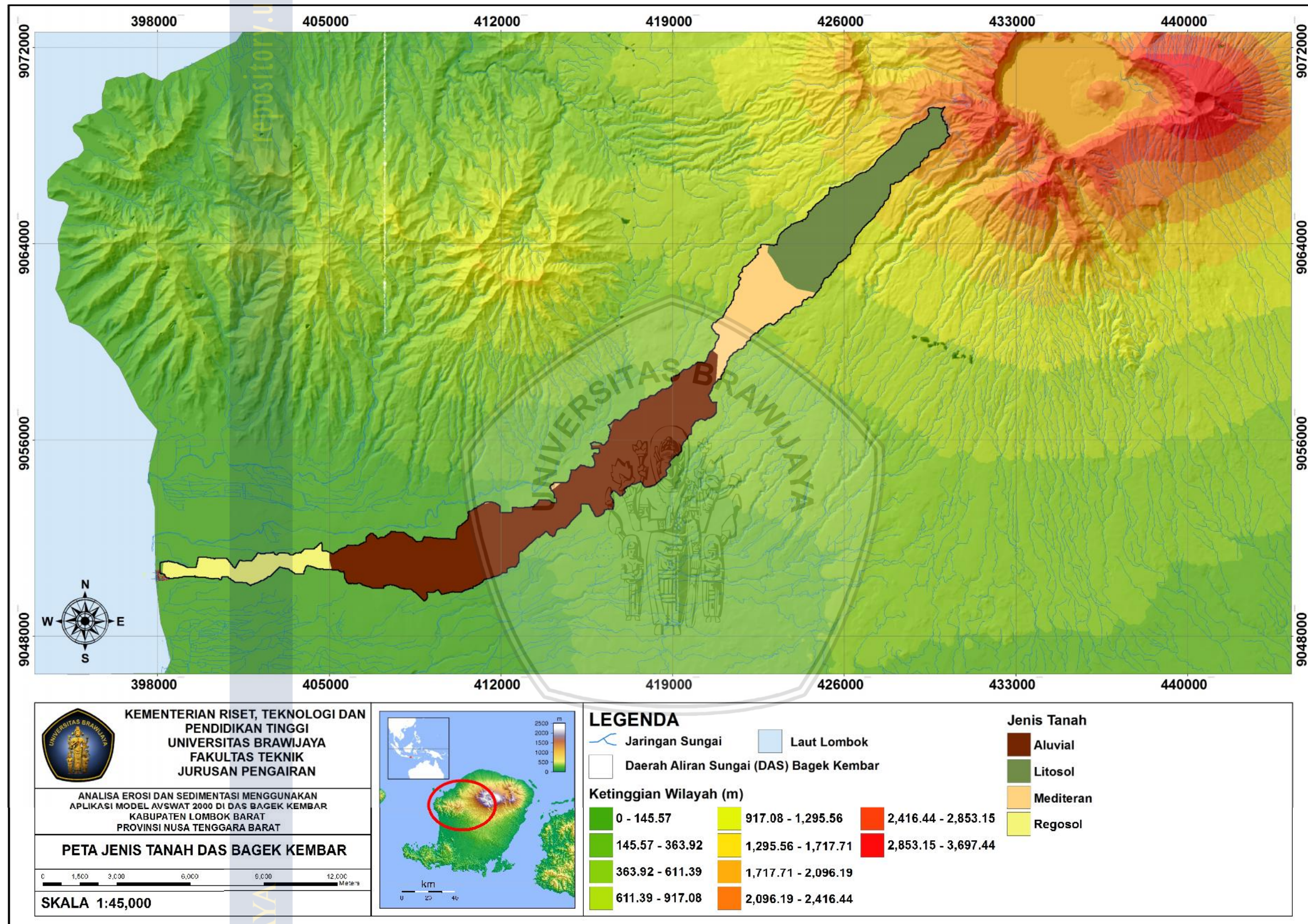


Gambar 4.13 Sebaran Tata Guna Lahan DAS Bagek Kembar tahun 2006

Sumber : Pengolahan data



Gambar 4.14 Sebaran Tata Guna Lahan DAS Bagek Kembar Tahun 2009
Sumber : Pengolahan data



Gambar 4.15 Sebaran Jenis Tanah DAS Bagek Kembar
Sumber : Pengolahan data

4.3.2. Pengolahan Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah

Program pemodelan siklus hidrologi seperti *AVSWAT 2000* membutuhkan informasi mengenai data-data penutup lahan dan jenis tanah untuk mengenali unit lahan yang berparameter hidrologi yang akan dimodelkan. Dalam hal ini *AVSWAT 2000* mempunyai *tools* yang disebut *landuse and soil definition*.

Peta tata guna lahan dan jenis tanah di *overlay* untuk menentukan unit lahan apa saja yang terkandung dalam suatu subdas. Peta tata guna lahan dan peta jenis tanah harus memiliki proyeksi gambar peta yang sama dengan peta DEM, karena jika tidak program tidak akan mengenalinya. Format peta bisa dalam bentuk *shape* atau *grid*. Jika format peta dalam bentuk *shape* maka program akan mengkonversi peta ke dalam bentuk *grid*.

Pembuatan data dalam file (*.dbf) juga diperlukan sebagai tambahan untuk mendeskripsikan penutup lahan dan jenis tanah. Format tabel disusun seperti format yang diminta program agar program dapat berjalan dengan sempurna.

Tabel 4.16

Contoh Data (*.dbf) Peta Tata Guna Lahan

VALUE	LANDUSE
1	PMKN
2	SMBK
3	HUTN
4	PRKB
5	PGRT
6	SWIR

Sumber : Pengolahan data

Keterangan :

PMKN = Pemukiman

PGRT = Perkebunan

SWIR = Sawah Irigasi

LHKR = Lahan Kering

HUTN = Hutan

SMAK = Semak Belukar

Tabel 4.17

Contoh Data (*.dbf) Peta Jenis Tanah

VALUE	NAME
1	LITO
2	ALUV
3	REGO
4	MED

Sumber : Pengolahan data

Keterangan :

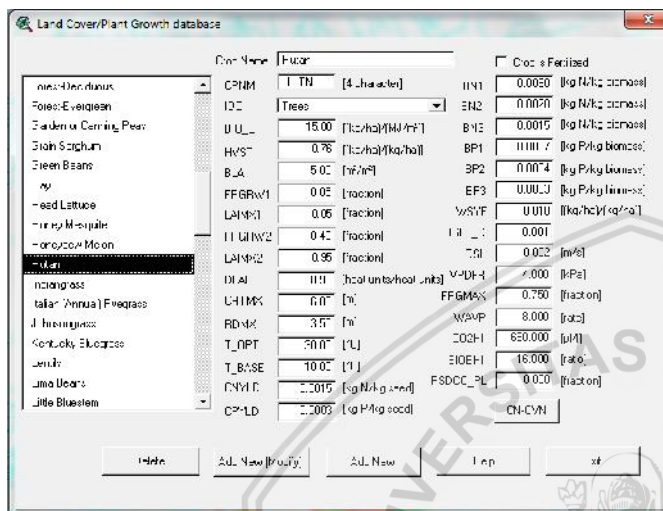
LITO = Litosol

ALUV = Aluvial

REGO = Regosol

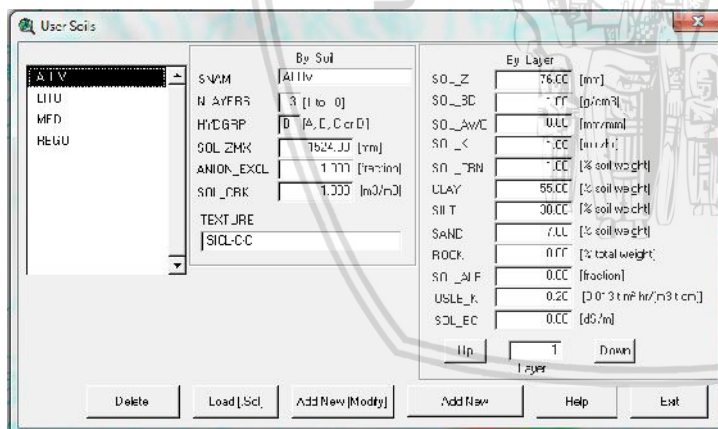
MED = Mediteran

Pembuatan database juga dibutuhkan agar program dapat mengenali data-data yang dibuat secara manual. Data tata guna lahan dapat dimasukkan lewat *land cover/plant growth database* atau kedalam *file avswatdb -crop-*, dan data tanah dimasukkan lewat *usersoils database*.



Gambar 4.16 Land cover/plant growth database

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000



Gambar 4.17 Usersoils database

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

Tekstur tanah ditentukan pada berdasarkan jenis tanahnya. Sedangkan nilai-nilai K dan tingkat erodibilitas diperkirakan dengan melihat peta dan juga merujuk pada tabel referensi.

Tabel 4.18
Data Jenis Tanah DAS Bagek Kembar dan Nilai K

No.	Jenis Tanah	K
1	Aluvial	0.2
2	Litosol	0.32
3	Mediteran	0.25
4	Regosol	0.31

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

Berdasarkan peta dan berbagai referensi, kondisi lahan eksisting di DAS Bagek Kembar dapat ditentukan dan ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.19
Data Tata Guna Lahan Eksisting DAS Bagek Kembar

No.	Tata Guna Lahan	C
1	Hutan	0.001
2	Pemukiman	1.000
3	Sawah	0.020
4	Lahan Kering	1.000
5	Semak Belukar	0.010
6	Perkebunan	0.200

Sumber: Analisa spasial AVSWAT 2000

4.3.3. Penentuan Klasifikasi Tanah dan *Curve Number*

Nilai *Curve Number* (CN) atau bilangan kurva air limpasan ditentukan berdasarkan dua parameter fisik dari sub DAS, yaitu kondisi jenis tanah dan jenis penutup lahan. Dari kondisi jenis tanah akan didapatkan klasifikasi kelompok tanah menurut SCS (*Hydrology Soil Group*) seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 sebelumnya.

Kemudian nilai CN dicari menurut kelompok tanah pada keadaan kelembaban awal II sesuai dengan jenis penutup lahannya. Nilai CN pada keadaan kelembaban awal II untuk kelompok tanah untuk masing-masing jenis penutup lahan dengan melihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20.
 Nilai CN II untuk Masing-Masing Penutup Lahan

No.	Tata Guna Lahan	Nilai CN II			
		A	B	C	D
1	Hutan	36	60	73	79
2	Pemukiman	49	69	79	84
3	Sawah	58	69	77	80
4	Lahan Kering	48	67	77	83
5	Semak Belukar	35	56	70	77
6	Perkebunan	43	65	76	82

Sumber :

- (1). Peta tata guna lahan NTB dari Webgis Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
- (2). Nilai *SCS Curve Number* kondisi kelembaban awal II, dari tabel *crop* dan tabel *urban* AVSWAT 2000.

Tabel 4.21

Kelompok Tanah menurut Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Kelompok Tanah	Keterangan
1	Aluvial	B	Potensi aliran kecil, tanah berpasir dangkal. Tekstur halus sampai sedang. Laju infiltrasi sedang
2	Litosol	C	Potensi aliran sedang. Tekstur sedang sampai halus. Laju infiltrasi rendah
3	Mediteran	B	Potensi aliran kecil, tanah berpasir dangkal. Tekstur halus sampai sedang. Laju infiltrasi sedang
4	Regosol	C	Potensi aliran sedang. Tekstur sedang sampai halus. Laju infiltrasi rendah

Sumber : Pengolahan data

4.3.4. Angka Kekasaran Manning di Lahan dan Sungai

Koefisien kekasaran lahan dan sungai adalah salah satu parameter yang berpengaruh dalam perhitungan debit puncak limpasan yang terjadi pada fenomena limpasan permukaan yang terjadi dalam suatu kawasan DAS. Angka kekasaran *manning* di lahan merupakan masukan data untuk perhitungan waktu konsentrasi yang terjadi di lahan melalui database *crop.dbf*. Sedangkan angka kekasaran *manning* di sungai akan digunakan sebagai masukan data untuk perhitungan waktu konsentrasi aliran di sungai. Angka kekasaran *manning* di anak sungai dimasukkan melalui menu *interface* "Write Subbasin General Data (*.sub)" pada *toolbar* input, sedangkan angka kekasaran *manning* di sungai utama dimasukkan melalui menu "Write Main Channel Data (*.rte)". Hasil penentuan angka kekasaran *manning* tersebut dapat dilihat pada tabel 4.22 dan tabel 4.23.

Tabel 4.22

Angka Kekasaran *Manning* untuk Aliran di Sungai

No.	Jenis Sungai	Tipe Saluran	Angka kekasaran <i>Manning</i>
1.	Anak sungai	Saluran alam : sedikit vegetasi, dasar saluran berkerikil dan berbatu atau ada tumbuhan bawah.	0,05
2.	Sungai utama	Saluran alam : sedikit vegetasi, dasar saluran berkerikil dan berbatu.	0,025

Sumber : Angka kekasaran *manning* untuk aliran di saluran (Chow, 1959)

Tabel 4.23

Angka Kekasaran *Manning* untuk Aliran di Lahan

No.	Tata Guna Lahan	Angka Kekasaran <i>Manning</i>
1	Hutan	0,15
2	Pemukiman	0,10
3	Sawah	0,10
4	Lahan Kering	0,15
5	Semak Belukar	0,15
6	Perkebunan	0,10

Sumber : AVSWAT *Theoretical Documentation* 2000

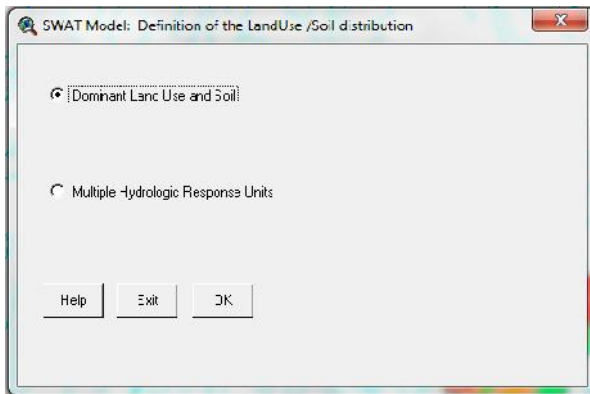
4.4. Pengolahan HRU (*Hydrologic Response Unit*)

HRU adalah unit satuan lahan yang mendeskripsikan peta penutup lahan atau jenis tanah yang ada pada suatu sub DAS. Di dalam program AVSWAT 2000, terdapat suatu *tool* yaitu *HRU distribution* yang berfungsi untuk menjelaskan luasan distribusi penutup lahan atau jenis tanah apa saja yang ada dalam suatu sub DAS yang akan dimodelkan. Terdapat dua pilihan dalam *tool* ini, yang pertama adalah *dominant land use and soil* dan pilihan kedua adalah *mutiple hydrologic respnose unit*.

Pilihan pertama, *dominant land use and soil*, program akan mengenali HRU yang dominan yang ada dalam suatu sub DAS. Contoh, apabila suatu sub DAS mengandung :

- Hutan 99.83%
- Litosol 85.13%
- Perkebunan 0.17%
- Mediteran 14.87%

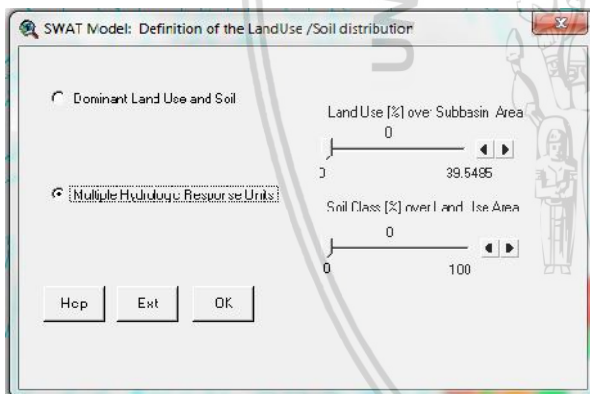
Program akan mengambil areal penutup lahan/tata guna lahan yang paling dominan saja yang akan dimodelkan, yakni jenis penutup lahan Hutan (99.83%) dan jenis tanah Litosol (83.13%).

Gambar 4.18 *HRU Distribution (dominant)*

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

Pilihan kedua *mutiple hydrologic respnose unit*, program akan mengenali semua HRU yang ada pada suatu sub DAS tergantung pada prosentase cakupan luasan yang diberikan. Terdapat dua prosentase cakupan luasan yang ditawarkan program, yaitu : *land use (%) over sub basin area* dan *soil class (%) over land use area*.

Studi ini menggunakan pilihan yang kedua yaitu *mutiple hydrologic respnose unit* dengan prosentase *land use (%) over sub basin area* sebesar 0% dan *soil class (%) over land use area* sebesar 0%.

Gambar 4.19 *HRU Distribution (multiple)*

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

Program ini akan menghitung seluruh areal tata guna lahan dan jenis tanah dari keseluruhan peta tata guna lahan dan peta jenis tanah.

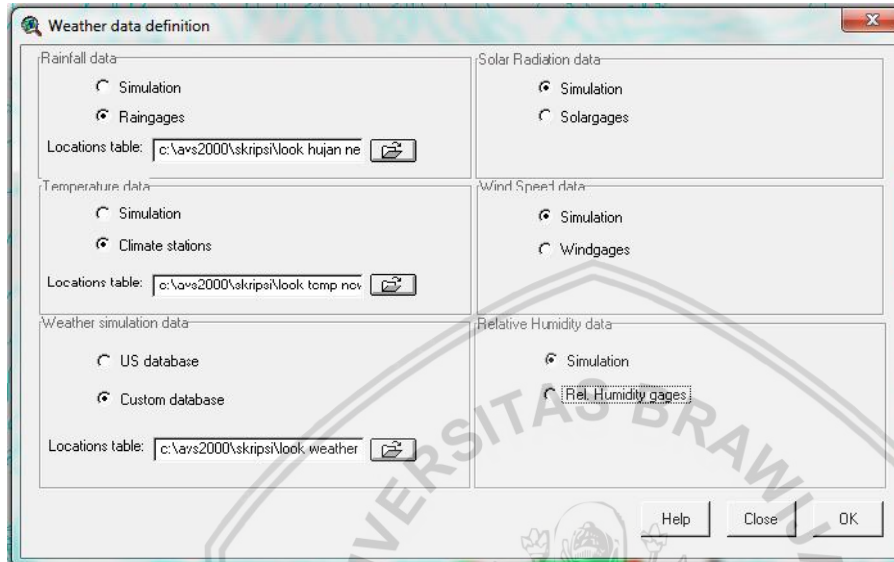
4.5. Pengolahan Data Stasiun Cuaca

Program AVSWAT 2000 membutuhkan informasi tentang hujan harian, temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban, dan radiasi sinar matahari yang terdapat pada setiap stasiun cuaca. Data data ini dimasukkan melalui menu *input* sub menu *weather station* pada tampilan *SWAT View*.

Data hujan harian dimasukkan lewat perintah *raingages*, data temperatur udara lewat perintah *climate stations*, data simulasi cuaca lewat *weather simulation*. Untuk data kelembaban relatif, radiasi sinar matahari dan kecepatan angin tidak dimasukkan,

dikarenakan ketersediaan data kurang lengkap. Namun demikian program AVSWAT 2000 mampu membangkitkan ketiga data tersebut mengacu pada data hujan yang ada. Tampilan *input weather station* akan dipaparkan pada Gambar 4.20.

Data-data yang dimasukkan disusun menurut format yang diminta program dalam file (*.dbf).



Gambar 4.20 *Input wether station*

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

Tabel 4.24

Contoh Format Data Lokasi Stasiun Hujan Harian

ID	NAME	XPR	YPR	ELEVATION
1	KERU	418627.00807	9053560.70572	288.13
2	SESA	415992.20289	9056473.23439	250.00
3	NARM	411966.98484	9051489.63718	156.00

Sumber : Pengolahan data

Tabel 4.25

Contoh Format Data Hujan Harian Stasiun Sesaot (SESA)

DATE	PCP
1/1/2000	5.6
1/2/2000	12.5
1/3/2000	0.0
1/4/2000	0.6
1/5/2000	28.3
1/6/2000	9.3
1/7/2000	8.8
1/8/2000	6.0
1/9/2000	0.0
1/10/2000	0.0

Sumber : Pengolahan data

Tabel 4.26

Contoh Format Data Lokasi Stasiun Temperatur Harian

ID	NAME	XPR	YPR	ELEVATION
1	SATT	420222.78834	9050308.25728	259.53
2	KERT	418627.00807	9053560.70572	288.13
3	SEST	415992.20289	9056473.23439	250.00
4	NARD	411966.98484	9051489.63718	156.00

Sumber : Pengolahan data

Tabel 4.27

Contoh Format Data Temperatur Harian Stasiun Sesaot (SEST)

DATE	MAX	MIN
1/1/2000	32.4	23
1/2/2000	32.3	23
1/3/2000	32.3	23
1/4/2000	32.3	23
1/5/2000	32.3	23
1/6/2000	32.3	23
1/7/2000	32.3	23
1/8/2000	32.3	23
1/9/2000	32.3	23
1/10/2000	32.3	23

Sumber : Pengolahan data

Tabel 4.28

Contoh Format Data Lokasi Stasiun Cuaca untuk Simulasi

ID	NAME	XPR	YPR
1	KERT	418627.00807	9053560.70572
2	SEST	415992.20289	9056473.23439
3	NARD	411966.98484	9051489.63718

Sumber : Pengolahan data

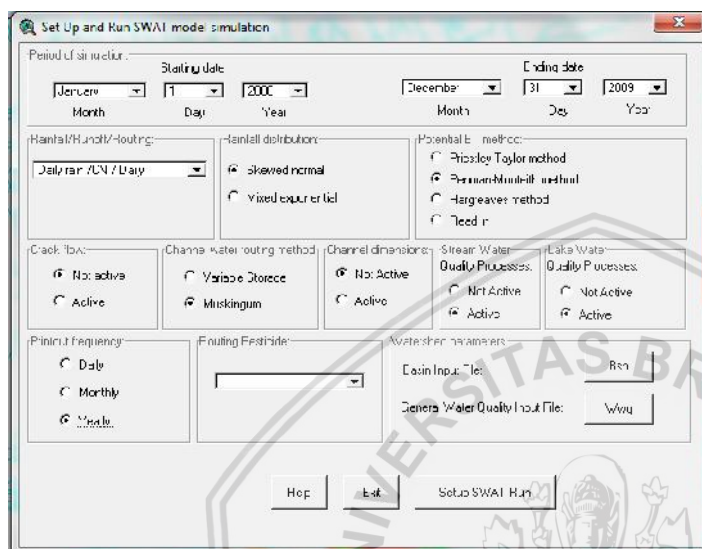
4.6. Running Simulation

Simulasi ini dimaksudkan untuk menduga berapa nilai erosi dan sedimen dari lahan pertanian dengan periode simulasi dimulai pada tanggal 1 Januari 2000 hingga 31 Desember 2009. Setelah semua data-data masukan selesai dimasukkan, langkah selanjutnya adalah mencoba simulasi model dengan perintah *Run SWAT* pada *menu simulation* dalam tampilan *SWATview*.

Set Up and Run SWAT model simulation :

1. *Period of simulation* : 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009
2. *Rainfall/Runoff/Routing* : *Daily rain/CN/Daily*
3. *Rainfall distribution* : *Skewed normal*
4. *Potential ET method* : *Penman-Monteith method*
5. *Crack flow* : *Active*

6. *Channel water routing method* : Muskingum
7. *Channel dimensions* : Active
8. *Stream water quality processes* : Active
9. *Lake water quality processes* : Active
10. *Printout frequency* : Yearly
11. *Routing Pesticide* : -



Gambar 4.21 *Set Up Running SWAT* periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

4.7. Hasil Simulasi

Analisis besarnya erosi dan sedimentasi pada DAS Bagek Kembar dilakukan dengan bantuan AVSWAT 2000 menggunakan dua data peta tata guna lahan, yaitu peta tata guna lahan tahun 2006 dan 2009. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 maka didapatkan besarnya erosi dan sedimen yang berubah-ubah tiap tahunnya sesuai dengan besarnya hujan yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.29 sampai tabel 4.32.

Tabel 4.29

Rekapitulasi Hasil Laju Erosi Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2006

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
1	938.72	31.36	8.89	0.82	0.89	0.67	0.69	0.19	0.21	0.20	0.31	4.42
2	127.92	257.76	85.92	13.94	25.13	19.82	23.17	6.04	7.79	6.36	7.92	45.39
3	512.48	413.60	114.29	20.09	35.85	27.14	36.90	9.37	10.94	9.70	10.49	68.84
4	439.60	440.45	120.84	21.54	38.00	28.74	39.18	9.98	11.96	10.71	10.93	73.23
5	81.52	343.68	96.64	15.40	31.48	26.69	29.66	8.95	9.75	9.95	10.46	58.27
6	76.68	333.92	93.62	14.93	27.36	24.33	32.48	7.82	8.54	7.82	10.11	56.09
7	162.80	262.79	65.85	14.00	24.78	18.35	20.47	6.77	6.86	7.11	8.45	43.54
8	45.68	300.84	84.56	13.46	24.66	21.91	29.34	7.06	7.70	7.05	9.11	50.57
9	453.16	369.18	93.47	64.18	155.52	145.51	235.21	98.69	163.50	185.26	208.60	171.91
10	513.12	1128.77	400.39	218.95	458.93	476.06	815.15	236.35	366.15	548.52	427.59	507.68
11	41.36	741.40	353.13	244.09	411.75	341.80	461.60	190.85	327.15	283.91	396.54	375.22

Lanjutan Tabel 4.29 Rekapitulasi Hasil Laju Erosi Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2006

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
12	223.68	60.87	17.76	2.06	9.90	38.63	141.72	78.38	61.08	60.15	116.24	58.68
13	98.00	378.11	216.71	118.53	198.48	159.94	216.32	87.78	116.45	119.20	147.74	175.93
14	210.40	48.73	15.16	2.36	9.22	39.15	93.67	52.62	52.63	45.89	51.50	41.09
15	489.84	173.66	100.64	187.55	128.21	121.04	91.64	100.45	114.01	82.30	270.50	137.00
16	657.40	147.70	81.53	131.57	99.06	90.60	72.33	81.48	99.06	65.39	138.67	100.74
17	173.52	65.60	46.51	72.71	40.11	33.56	25.22	27.57	30.61	21.11	40.47	40.35
18	47.88	18.21	13.52	18.41	10.40	8.52	4.88	4.08	6.49	5.23	10.33	10.01
19	291.60	67.11	48.40	83.87	49.78	48.69	41.18	53.26	52.49	47.58	82.01	57.44
20	147.12	58.75	42.57	65.70	35.98	29.96	22.47	24.56	27.21	18.45	51.04	37.67
21	256.96	83.58	66.79	108.41	67.73	65.97	56.36	69.76	67.50	53.74	112.97	75.28
22	182.12	85.59	62.66	97.39	73.85	63.43	55.70	63.03	78.19	57.61	114.31	75.18
23	561.96	40.64	31.39	43.10	27.33	22.79	16.96	17.34	18.59	13.35	31.65	26.31

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.30

Rekapitulasi Hasil Sedimen Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2006

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
1	938.72	2.30	0.85	0.05	0.07	0.06	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02	0.35
2	127.92	78.53	31.12	5.01	7.59	6.64	8.36	1.70	2.40	1.80	2.02	14.52
3	512.48	37.09	11.75	1.95	2.72	2.26	2.55	0.64	0.79	0.61	0.61	6.10
4	439.60	57.30	19.94	3.23	4.61	3.98	4.69	1.07	1.34	1.03	1.06	9.83
5	81.52	134.51	54.58	8.64	13.05	11.52	14.40	2.91	4.08	3.08	3.40	25.02
6	76.68	130.27	52.73	8.34	12.53	11.11	13.82	2.78	3.63	2.76	3.06	24.10
7	162.80	96.80	39.26	6.31	9.65	8.40	10.70	2.15	3.08	2.29	2.65	18.13
8	45.68	111.11	45.03	7.11	10.68	9.46	11.79	2.38	3.09	2.35	2.60	20.56
9	453.16	307.38	39.92	13.21	18.44	15.31	15.19	10.84	13.22	14.07	11.51	45.91
10	513.12	409.64	127.51	107.98	237.94	261.42	297.42	219.09	278.17	298.83	244.06	248.21
11	41.36	491.37	257.35	215.15	417.16	413.95	456.96	351.38	440.38	477.77	394.49	391.60
12	223.68	97.30	41.90	4.49	18.93	87.84	203.20	161.81	144.42	147.61	144.72	105.22
13	98.00	310.94	188.72	107.52	167.16	133.88	137.02	97.34	113.89	113.30	94.99	146.48
14	210.40	84.39	36.22	3.94	16.25	69.49	155.20	125.58	110.16	114.58	111.65	82.75
15	489.84	65.44	34.54	51.42	54.74	45.95	45.14	53.99	58.48	63.51	75.57	54.88
16	657.40	64.87	32.88	39.61	36.24	28.16	24.72	28.44	29.81	32.48	38.50	35.57
17	173.52	84.80	59.61	53.57	36.38	24.29	17.68	17.75	17.07	18.09	20.18	34.94
18	47.88	6.33	4.30	4.44	3.27	2.13	1.64	1.74	1.73	1.88	2.22	2.97
19	291.60	101.84	71.81	63.47	42.16	28.05	19.93	19.66	18.88	19.95	21.95	40.77
20	147.12	69.04	47.65	44.05	31.13	21.00	15.75	16.17	15.50	16.49	18.69	29.55
21	256.96	62.58	36.34	48.00	47.81	39.22	37.94	45.00	48.19	52.23	61.77	47.91
22	182.12	74.22	47.49	51.69	44.48	34.29	30.49	34.96	36.49	39.50	45.96	43.96
23	561.96	3.89	2.15	2.91	2.39	1.74	1.50	1.58	1.63	1.57	2.27	2.16

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.31

Rekapitulasi Hasil Laju Erosi Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
1	938.72	22.64	3.84	2.64	5.61	5.53	7.50	2.27	3.94	3.58	3.45	6.10
2	127.92	165.03	16.91	2.64	5.06	4.19	4.84	1.08	1.95	2.25	2.20	20.61
3	512.48	328.05	26.97	2.53	7.39	6.56	7.78	2.02	2.15	3.08	3.63	39.01
4	439.60	350.41	28.39	2.68	7.82	6.97	8.21	2.14	2.30	3.25	3.85	41.60
5	81.52	271.70	23.56	2.32	6.56	4.53	6.70	1.44	2.05	2.52	2.66	32.40

Lanjutan Tabel 4.31 Rekapitulasi Hasil Laju Erosi Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
6	76.68	264.89	22.45	2.75	5.90	5.12	5.84	1.64	2.10	2.61	2.35	31.57
7	162.80	190.11	16.20	2.18	4.51	4.36	4.03	1.28	1.77	1.80	2.22	22.85
8	45.68	715.26	294.08	135.18	274.48	305.47	506.18	130.63	183.08	228.67	202.94	297.60
9	453.16	987.89	429.17	268.78	502.25	487.98	655.63	299.18	437.79	500.41	465.09	503.42
10	513.12	1752.28	901.43	752.51	1615.13	1569.27	1990.98	678.74	917.01	1124.89	1079.54	1238.18
11	41.36	1618.94	1007.53	686.08	1619.70	1379.02	1818.62	636.27	916.56	926.29	1025.39	1163.44
12	223.68	370.06	174.61	32.70	307.05	2589.36	1964.65	486.17	335.57	340.70	663.34	726.42
13	98.00	841.54	549.49	330.51	694.68	527.67	721.64	260.64	357.21	389.94	365.22	503.85
14	210.40	301.06	151.29	27.55	249.30	2076.68	1590.54	358.57	261.77	269.47	526.71	581.29
15	489.84	270.72	286.09	584.42	371.58	389.39	317.18	327.24	398.46	287.61	646.03	387.87
16	657.40	323.58	304.05	589.98	395.75	442.88	339.27	375.22	368.12	267.30	652.00	405.82
17	173.52	145.95	136.84	261.28	190.33	150.49	134.87	149.35	191.40	127.03	278.76	176.63
18	47.88	40.85	32.44	51.84	42.71	40.65	35.52	36.75	45.66	31.20	52.07	40.97
19	291.60	147.89	140.12	225.88	166.90	189.02	156.91	160.26	160.08	126.91	271.13	174.51
20	147.12	135.09	129.37	222.75	172.90	140.99	124.21	137.63	175.53	114.32	318.49	167.13
21	256.96	127.39	124.84	205.80	157.92	126.96	121.11	87.34	137.84	92.64	292.81	147.47
22	182.12	127.71	126.39	210.28	162.25	123.78	119.65	88.23	141.44	94.12	301.82	149.57
23	561.96	100.68	89.82	161.67	120.20	104.38	91.09	111.19	114.75	85.71	183.20	116.27

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.32 Rekapitulasi Hasil Sedimen Model SWAT pada Periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
1	938.72	1.48	0.11	0.02	0.03	0.03	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.18
2	127.92	52.77	6.84	0.85	1.59	1.47	1.77	0.36	0.60	0.50	0.54	6.73
3	512.48	27.56	2.52	0.32	0.60	0.54	0.61	0.15	0.23	0.20	0.19	3.29
4	439.60	40.98	4.25	0.53	1.00	0.91	1.06	0.25	0.38	0.32	0.32	5.00
5	81.52	88.94	11.70	1.44	2.69	2.49	3.02	0.61	1.00	0.84	0.90	11.36
6	76.68	86.50	11.41	1.39	2.60	2.43	2.94	0.59	0.96	0.80	0.86	11.05
7	162.80	63.92	8.63	1.06	2.01	1.85	2.27	0.46	0.76	0.63	0.71	8.23
8	45.68	108.30	45.10	19.78	39.93	45.43	65.49	16.88	26.84	20.73	20.87	40.93
9	453.16	305.10	41.45	18.73	32.47	29.00	33.25	24.22	31.06	32.51	25.97	57.37
10	513.12	579.02	334.58	277.17	619.77	497.95	463.88	283.18	282.93	268.75	223.18	383.04
11	41.36	446.80	228.62	228.04	558.77	593.62	637.39	434.94	544.68	577.16	549.08	479.91
12	223.68	173.12	109.78	18.89	140.42	457.65	685.98	278.21	205.94	269.02	272.72	261.17
13	98.00	347.68	224.85	123.13	200.83	149.38	150.06	101.77	116.20	114.72	91.41	162.00
14	210.40	185.97	134.23	22.98	168.23	559.87	819.38	287.53	211.27	298.56	293.47	298.15
15	489.84	105.35	77.36	84.98	72.73	47.79	48.17	51.39	49.75	50.00	56.99	64.45
16	657.40	93.94	82.17	112.95	105.02	70.70	75.34	80.09	78.38	78.21	89.82	86.66
17	173.52	73.98	44.49	37.86	29.44	19.68	16.87	18.67	18.92	20.11	23.42	30.34
18	47.88	5.72	3.34	3.34	2.80	1.91	1.80	2.06	2.15	2.28	2.72	2.81
19	291.60	94.18	56.82	42.19	28.76	17.32	13.26	13.87	13.22	14.04	15.89	30.95
20	147.12	67.33	43.26	37.01	28.59	18.22	15.56	16.64	16.45	17.11	19.76	27.99
21	256.96	89.66	62.67	60.89	50.05	32.20	30.12	32.10	31.36	31.91	36.51	45.75
22	182.12	83.67	53.35	46.40	35.95	22.75	19.76	21.07	20.50	21.19	24.28	34.89
23	561.96	3.47	1.95	3.32	3.03	2.29	2.19	2.39	2.54	2.41	3.28	2.69

Sumber : Hasil Perhitungan

4.8. Teknik Kalibrasi

Proses kalibrasi di dalam suatu perhitungan pemodelan seperti yang dilakukan oleh AVSWAT ini sangatlah penting. Kalibrasi ini dimaksudkan untuki melakukan proses pengecekan *output* dari AVSWAT terhadap data-data yang tersedia di lapangan. Proses

kalibrasi juga digunakan untuk mengetahui kesesuaian dari estimasi nilai parameter-parameter yang kita gunakan dengan nilai parameter yang sebenarnya di lapangan.

Karena keterbatasan data lapangan, studi ini memakai data AWLR yang berbeda DAS. Data AWLR yang dipakai harus memenuhi karakteristik DAS yang sama dengan lokasi studi.

Tabel 4.33

Sebaran Tata Guna Lahan Outlet Sub DAS 8 (Model) dan AWLR

No.	Tata Guna Lahan	AWLR		Outlet Sub DAS 8 (Model)	
		Luas (ha)	Luas (%)	Luas (ha)	Luas (%)
1	Hutan	2076.33	93.11	2202.57	99.26
2	Semak belukar	4.15	0.19	14.72	0.66
3	Perkebunan	110.32	4.95	1.68	0.08
4	Sawah	39.13	1.75	0.00	0.00
Jumlah		2229.92	100	2218.96	100

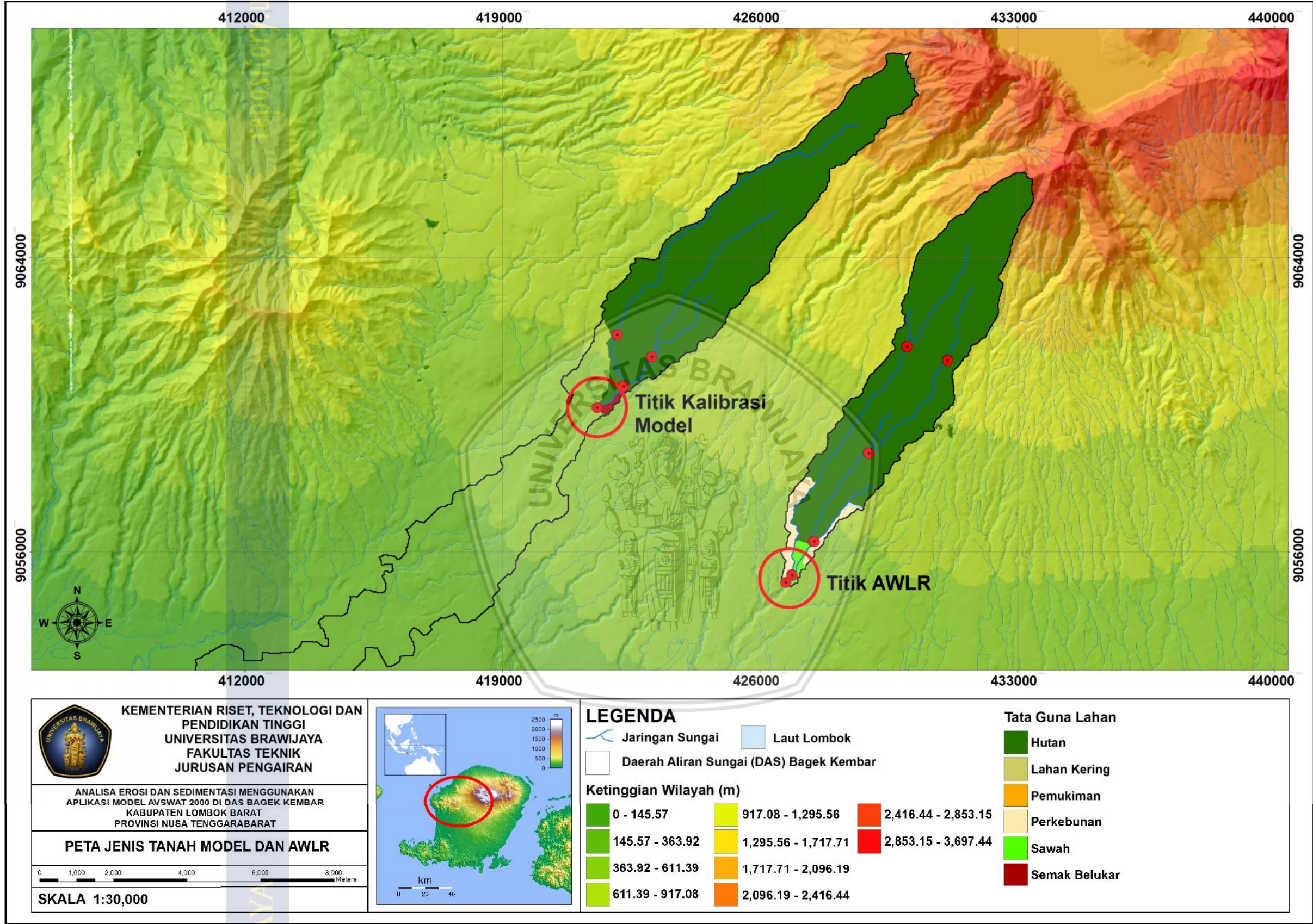
Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000

Tabel 4.34

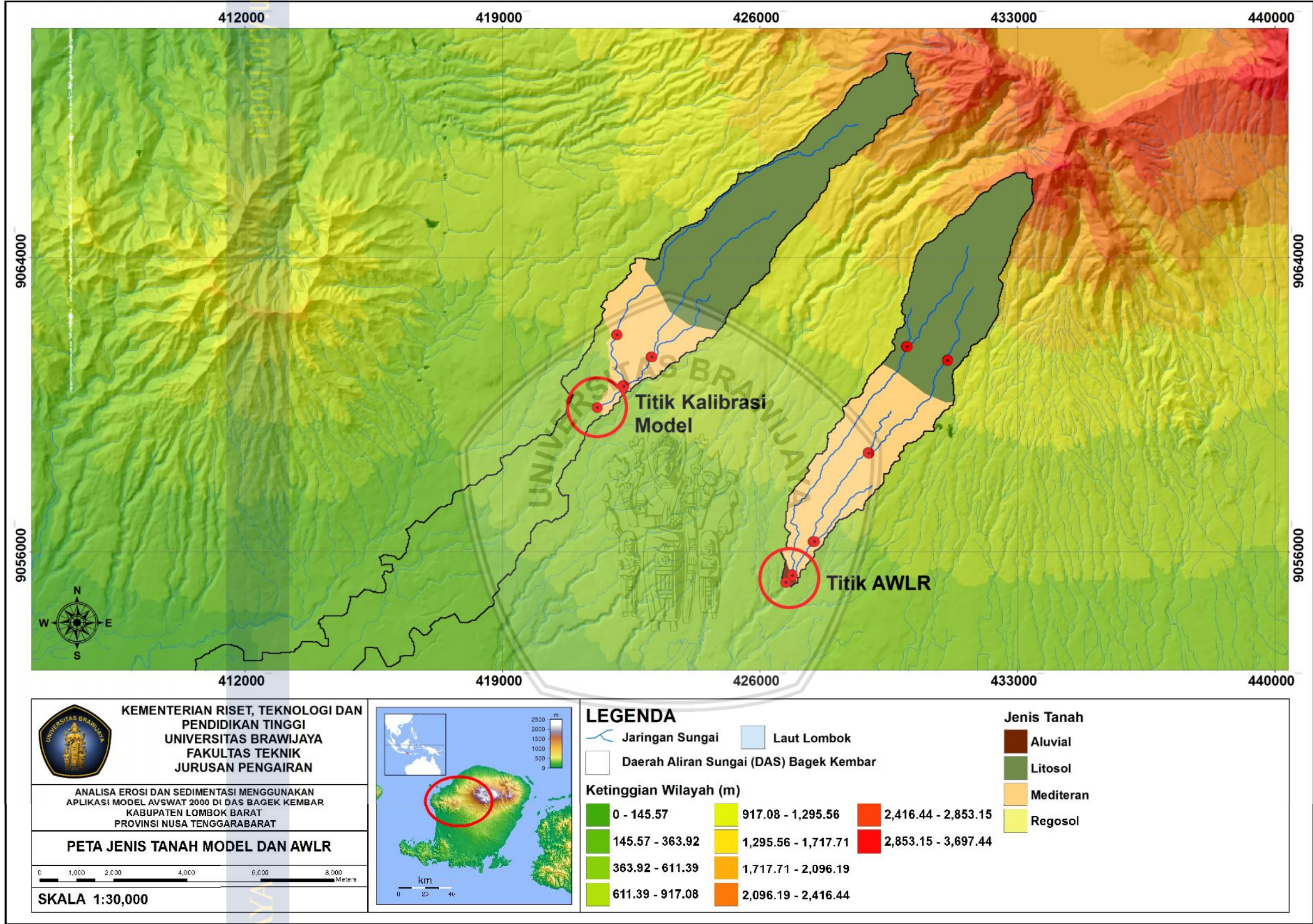
Sebaran Jenis Tanah Outlet Sub DAS 8 (Model) dan AWLR

No.	Jenis Tanah	AWLR		Outlet Sub DAS 8 (Model)	
		Luas (ha)	Luas (%)	Luas (ha)	Luas (%)
1	Mediteran	1004.19	45.03	586.19	26.42
2	Litosol	1211.68	54.34	1632.77	73.58
3	Aluvial	14.06	0.63	0.00	0.00
Jumlah		2229.92	100	2218.96	100

Sumber : Analisa spasial AVSWAT 2000



Gambar 4.22 Sebaran Tata Guna Lahan *Outlet* Sub DAS 8 (Model) dan AWLR
Sumber : Pengolahan data



Gambar 4.23 Sebaran Jenis Tanah *Outlet* Sub DAS 8 (Model) dan AWLR
Sumber : Pengolahan data

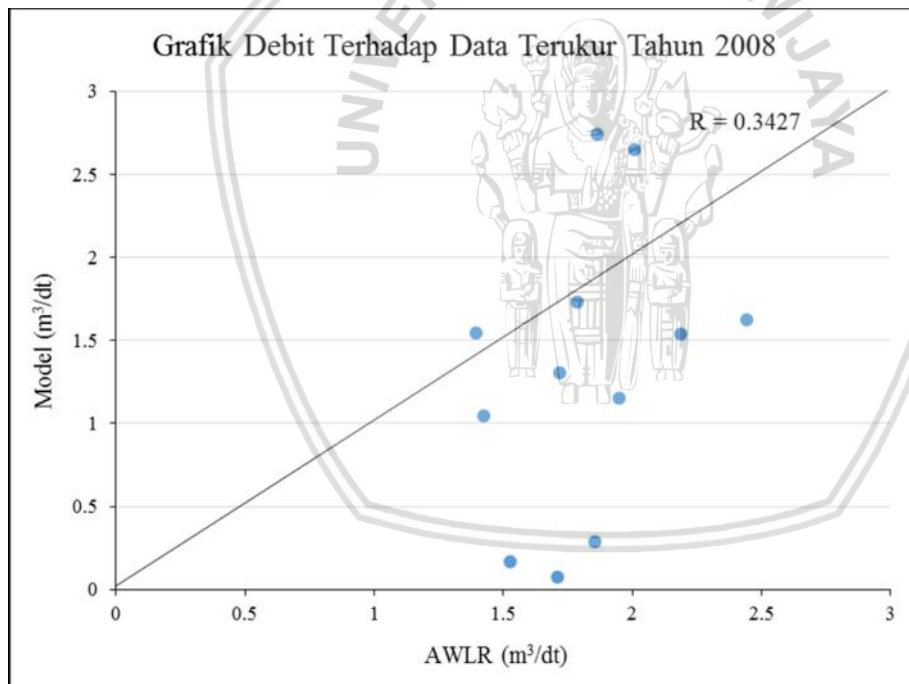
Contoh hasil simulasi tahun 2008 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.35

Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2008 Sebelum Kalibrasi

Bulan	Debit (m^3/dt)		KR (%)
	Model	AWLR	
Januari	1.73	1.79	3.24
Februari	2.65	2.01	31.77
Maret	1.62	2.44	33.60
April	1.54	2.19	29.80
Mei	1.15	1.95	40.84
Juni	0.29	1.86	84.57
Juli	0.08	1.71	95.48
Agustus	0.17	1.53	88.80
September	1.05	1.42	26.36
Oktober	1.55	1.39	10.80
November	2.74	1.86	47.10
Desember	1.30	1.72	24.11

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.24 Grafik Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2008 Sebelum Kalibrasi

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari grafik di atas nampak bahwa debit hasil simulasi lebih besar dari data pengukuran lapangan, untuk menangani masalah inii maka langkah-langkah kalibrasi yang dilakukan sesuai yang dianjurkan dalam buku petunjuk AVSWAT adalah:

- a. Langkah I

1. Menambah/mengurangi bilangan kurva larian (*curve number*) dalam *file* (*.*mgt*)
2. Menambah/mengurangi AWC (*Available Water Capacity*) dalam *file* (*.*sol*)
3. Menambah/mengurangi faktor kompensasi evaporasi dalam *file* (*.*hru*)

Apabila belum mendapatkan hasil yang memuaskan maka hal yang perlu diperhatikan adalah faktor-faktor air tanah yang tersimpan di data (*.*gw*)

b. Langkah II

1. Menambah/mengurangi koefisien resap air tanah (GW_REVAP). Nilai maksimum 0,20 dan nilai minimum 0,02.
2. Menambah/mengurangi angka kisaran kedalaman air pada *shallow aquifer* yang mengakibatkan terjadinya evaporasi (REVAPMN)
3. Menambah/mengurangi angka kisaran kedalaman air pada *shallow aquifer* yang mengakibatkan terjadinya aliran dasar (GWQMN). Nilai minimum 0,00

c. Langkah III

Mengulang langkah I dan Langkah II secara terus-menerus.

Skenario kalibrasi debit dapat ditampilkan sebagai berikut:

-) Skenario I : Penurunan nilai CN 20% untuk semua tata guna lahan, kecuali nilai CN = 35.
-) Skenario II : Penurunan nilai CN 40% untuk semua tata guna lahan, kecuali nilai CN = 35.
-) Skenario III : Mencoba parameter *hru.dbf* yaitu parameter yang mengandung informasi yang berkaitan dengan dampak nilai pada hasil aliran air *surface* maupun *subsurface*, masing-masing tata guna lahan yakni Lat (*Lateral Flow Travel Time* satuan hari) dan ESCO (*Soil Evapotranspiration Factor*) yaitu nilai Lat = 120 hari dan ESCO = 0,2

Analisa yang dapat ditarik adalah sebagai berikut:

1. Untuk perlakuan parameter pada skenario I dan skenario II diketahui bahwa hidrograf bulanan masih belum menyerupai kondisi lapangan, di mana pada saat bulan kering masih tetap pada kondisi di bawah debit lapangan, sedangkan pada saat bulan basah jauh di atas debit lapangan.
2. Setelah coba-coba berbagai variasi didapatkan kesimpulan bahwa skenario III lebih mendekati pengukuran lapangan dengan kesalahan relatif yang masih dapat ditolerir.

Tabel 4.36

Parameter Berpengaruh AVSWAT 2000

Parameter	Lower Limit	Upper Limit
CN2	35	98
SOL_AWC	0	0.01
ESCO	0	1
Lat	0	120

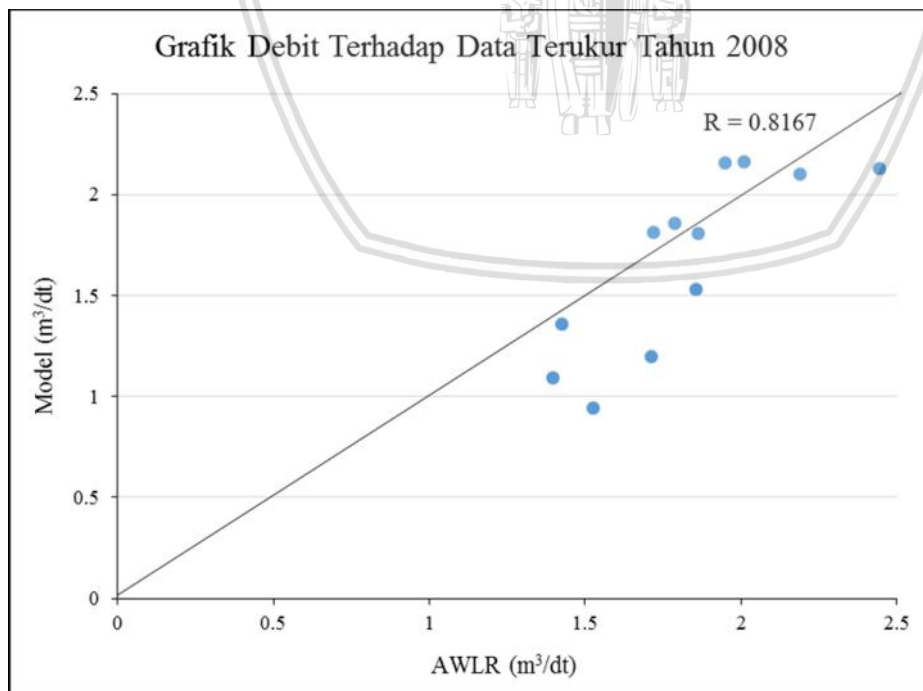
Sumber : Pengolahan data

Tabel 4.37

Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2008 Setelah Kalibrasi

Bulan	Debit (m^3/dt)		KR (%)
	Model	AWLR	
Januari	1.86	1.79	3.88
Februari	2.16	2.01	7.67
Maret	2.13	2.44	13.00
April	2.10	2.19	3.88
Mei	2.16	1.95	10.67
Juni	1.53	1.86	17.65
Juli	1.20	1.71	29.89
Agustus	0.94	1.53	38.29
September	1.36	1.42	4.84
Oktober	1.09	1.39	21.71
November	1.81	1.86	2.84
Desember	1.82	1.72	5.63

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.25 Grafik Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2008 Setelah Kalibrasi

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.38

Kesalahan Relatif Hasil Simulasi Debit AVSWAT 2000 Tahun 2000 sampai 2009 Setelah Kalibrasi

Bulan	Kesalahan Relatif (KR) %									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Januari	84.81	34.48	27.54	2.49	49.63	30.66	11.54	30.62	3.88	1.44
Februari	69.50	2.53	35.30	5.61	53.16	81.41	9.56	24.88	7.67	78.22
Maret	41.43	9.15	2.42	46.19	81.99	77.95	7.43	8.89	13.00	20.47
April	36.93	15.72	14.18	49.20	94.31	72.21	7.17	8.06	3.88	24.20
Mei	37.35	16.29	22.41	42.91	58.92	48.98	11.32	13.50	10.67	9.48
Juni	45.70	23.66	40.05	19.84	24.55	28.73	11.88	13.51	17.65	12.15
Juli	57.71	34.08	52.08	5.71	5.47	27.66	27.96	4.37	29.89	48.58
Agustus	66.56	43.73	60.14	18.56	22.42	2.09	37.07	20.86	38.29	66.89
September	68.35	54.37	64.71	26.00	23.23	21.21	47.65	32.74	4.84	68.75
Oktober	26.62	28.06	64.11	29.15	10.85	12.20	53.45	40.02	21.71	59.37
November	22.87	42.47	68.92	12.65	17.33	41.13	36.27	42.47	2.84	39.01
Desember	1.32	33.20	1.65	7.90	33.61	0.41	12.23	28.07	5.63	40.97
Rerata	46.60	28.15	37.79	22.19	39.62	37.05	22.79	22.33	13.33	39.13

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari perhitungan kesalahan relatif tahun 2000 sampai dengan tahun 2009 dapat dilihat nilai debit model AVSWAT 2000 dengan debit lapangan menunjukkan kesalahan relatif yaitu antara 13.33% - 46.60%.

4.8.1. Uji Homogenitas Data

4.8.1.1. Uji Z

Uji Z ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah model AVSWAT mempunyai perbedaan nyata atau tidak dengan debit lapangan.

Tabel 4.39

Uji Z Hasil Model AVSWAT dan Debit Terukur

Tahun	Model	AWLR	$(X-X_r)^2$ Model	$(X-X_r)^2$ AWLR
2000	1.22	2.17	0.19	0.13
2001	1.67	2.04	0.00	0.06
2002	1.11	1.69	0.30	0.01
2003	2.04	1.86	0.14	0.00
2004	2.06	1.57	0.16	0.06
2005	2.27	1.69	0.37	0.01
2006	1.52	1.84	0.02	0.00
2007	1.52	1.53	0.02	0.08
2008	1.68	1.82	0.00	0.00
2009	1.49	1.84	0.03	0.00
Rerata	1.66	1.81		
Jumlah			1.24	0.35

Sumber : Hasil Perhitungan

$$S_{\text{model}} = 0.37 \quad ; \quad S_{\text{AWLR}} = 0.20$$

$$n_{\text{model}} = 10 \quad ; \quad n_{\text{AWLR}} = 10$$

$$S_d \times \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} \Gamma \frac{S_2^2}{n_2}} = 0.13$$

$$Z_M \times \frac{|\sim_1 \Gamma \sim_2|}{S_d} = 1.12$$

$$(Level\ of\ Significance) = 5\%$$

$$Z_{cr} = 1.96$$

Jadi, nilai hitung $Z_M = 1.12$, sedangkan Z_{cr} dengan $= 5\%$ adalah 1.96. Dengan demikian $Z_M < Z_{cr}$, maka hipotesis nol (H_0) dapat diterima.

4.8.1.2. Uji T

Uji T ini juga dimaksudkan untuk mengetahui apakah model AVSWAT mempunyai perbedaan nyata atau tidak dengan debit lapangan.

Tabel 4.40

Uji T Hasil Model AVSWAT dan Debit Terukur

Tahun	Model	AWLR	$(X-X_r)^2$ Model	$(X-X_r)^2$ AWLR
2000	1.22	2.17	0.19	0.13
2001	1.67	2.04	0.00	0.06
2002	1.11	1.69	0.30	0.01
2003	2.04	1.86	0.14	0.00
2004	2.06	1.57	0.16	0.06
2005	2.27	1.69	0.37	0.01
2006	1.52	1.84	0.02	0.00
2007	1.52	1.53	0.02	0.08
2008	1.68	1.82	0.00	0.00
2009	1.49	1.84	0.03	0.00
Rerata	1.66	1.81		
Jumlah			1.24	0.35

Sumber : Hasil Perhitungan

$$S_{model} = 0.37 ; S_{AWLR} = 0.20$$

$$N_{model} = 10 ; N_{AWLR} = 10$$

$$t \times \sqrt{\frac{(N_1 - 1) \cdot S_1^2 \Gamma (N_2 - 1) \cdot S_2^2}{N_1 \Gamma N_2}} = 2.86$$

$$t \times \frac{|\sim_1 \Gamma \sim_2|}{\sqrt{\frac{1}{N_1} \Gamma \frac{1}{N_2}}} = 0.12$$

$$n = 18$$

$$(Level\ of\ Significance) = 5\%$$

$$t_{cr} = 2.1$$

Jadi, nilai hitung $t = 0.12$, sedangkan t_{cr} dengan $\alpha = 5\%$ adalah 2.1 sehingga $t < t_{cr}$, maka hipotesis nol (H_0) dapat diterima.

Dari kedua hasil uji homogenitas, model AVSWAT memberikan kesimpulan atau hipotesa yang sama yaitu dapat diterima yang artinya debit model dengan debit lapangan sama jenis atau homogen.

Hasil simulasi setelah kalibrasi yang dilakukan pada periode 1 Januari 2000 – 31 Desember 2009 maka didapatkan besarnya erosi dan sedimen.

Tabel 4.41

Rekapitulasi Hasil Laju Erosi Model SWAT pada Periode Januari 2000 – 31 Desember 2009 Setelah Kalibrasi

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
1	938.72	1.45	1.38	0.51	0.97	1.20	1.82	0.36	0.67	0.67	0.80	0.98
2	127.92	27.56	19.29	2.38	2.76	2.36	2.97	0.48	0.76	0.58	0.85	6.00
3	512.48	33.54	26.54	3.34	4.66	3.40	4.44	0.66	0.93	0.71	1.08	7.93
4	439.60	35.53	27.96	3.49	4.89	3.56	4.64	0.69	0.97	0.77	1.12	8.36
5	81.52	33.35	24.05	2.31	3.99	2.48	3.49	0.39	1.03	0.76	1.12	7.29
6	76.68	32.18	23.10	2.76	4.08	2.48	3.50	0.43	0.82	0.41	0.91	7.07
7	162.80	25.03	12.91	1.83	2.43	2.50	2.88	0.45	0.67	0.59	0.57	4.99
8	45.68	82.67	80.62	29.34	52.15	48.18	95.76	12.15	26.57	24.30	22.79	47.45
9	453.16	157.40	71.57	39.26	78.46	41.70	42.48	11.49	17.01	20.44	23.03	50.28
10	513.12	335.54	207.00	130.21	196.88	240.77	365.63	102.95	164.62	155.79	174.95	207.43
11	41.36	311.23	233.37	142.80	273.28	226.74	280.20	98.06	151.24	170.64	150.90	203.85
12	223.68	110.01	50.46	4.82	53.12	579.44	532.62	86.16	57.90	74.93	137.62	168.71
13	98.00	180.86	114.85	76.73	132.63	126.18	159.92	50.25	72.74	79.15	88.06	108.14
14	210.40	88.24	40.40	3.85	41.74	466.49	427.97	69.90	51.24	60.57	89.38	133.98
15	489.84	52.59	47.18	112.81	91.03	86.25	55.63	83.40	69.90	41.63	132.77	77.32
16	657.40	66.07	62.36	139.02	97.05	106.20	66.70	78.08	63.42	43.21	126.39	84.85
17	173.52	32.65	29.37	64.33	46.79	46.31	28.06	36.41	29.98	20.02	48.76	38.27
18	47.88	8.09	6.52	14.93	10.76	9.71	6.41	7.16	6.45	5.00	16.25	9.13
19	291.60	34.52	26.87	61.66	45.95	40.72	31.63	38.92	32.26	21.32	57.77	39.16
20	147.12	29.36	24.91	63.82	44.65	43.28	25.51	34.59	27.50	18.36	44.36	35.63
21	256.96	28.17	26.44	69.40	49.59	42.56	29.71	31.56	24.46	17.48	46.42	36.58
22	182.12	28.19	24.53	61.09	45.42	43.43	31.40	39.72	32.58	21.80	42.05	37.02
23	561.96	17.99	16.64	40.25	28.96	27.53	16.67	21.90	18.88	13.77	43.66	24.62

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.42

Rekapitulasi Hasil Sedimen Model SWAT pada Periode Januari 2000 – 31 Desember 2009 Setelah Kalibrasi

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
1	938.72	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	127.92	3.79	2.50	0.42	0.42	0.38	0.49	0.05	0.12	0.08	0.12	0.84
3	512.48	1.82	0.74	0.12	0.14	0.12	0.14	0.02	0.04	0.03	0.03	0.32
4	439.60	2.67	1.33	0.22	0.24	0.21	0.26	0.03	0.06	0.04	0.06	0.51
5	81.52	6.25	4.26	0.72	0.71	0.64	0.80	0.08	0.19	0.13	0.19	1.40
6	76.68	5.91	4.04	0.69	0.69	0.61	0.77	0.08	0.18	0.13	0.18	1.33
7	162.80	4.66	3.20	0.53	0.53	0.49	0.64	0.06	0.15	0.11	0.16	1.05
8	45.68	6.93	5.28	2.26	3.19	3.11	5.79	0.72	1.94	1.45	1.61	3.23
9	453.16	44.08	7.60	2.00	2.91	1.94	1.47	0.79	0.77	0.95	0.76	6.33
10	513.12	117.49	71.44	53.03	88.34	92.65	87.26	54.73	56.66	68.16	53.06	74.28
11	41.36	81.85	40.81	23.47	37.41	38.86	34.49	21.55	21.99	27.30	21.51	34.92

Lanjutan Tabel 4.42 Rekapitulasi Hasil Sedimen Model SWAT pada Periode Januari 2000 – 31 Desember 2009 Setelah Kalibrasi

Tahun	Luas	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rerata
SUBBASIN	(ha)	ton/ha/th										
12	223.68	30.69	24.98	1.06	16.64	89.46	146.91	49.24	43.74	58.10	46.48	50.73
13	98.00	46.65	25.57	18.26	40.16	23.39	18.24	10.51	11.03	13.31	10.37	21.75
14	210.40	34.84	29.60	1.31	19.94	107.88	178.60	58.18	51.84	69.00	54.98	60.62
15	489.84	14.71	11.13	22.59	30.78	16.95	13.28	16.14	11.73	10.89	14.28	16.25
16	657.40	13.00	11.72	23.09	27.80	14.64	12.94	16.03	13.98	14.06	16.80	16.41
17	173.52	9.83	5.71	12.27	17.94	10.24	7.27	8.81	5.13	4.23	6.66	8.81
18	47.88	0.69	0.35	0.78	1.02	0.56	0.41	0.54	0.34	0.31	0.49	0.55
19	291.60	12.89	7.77	16.82	25.67	14.71	10.31	12.22	6.81	5.50	8.78	12.15
20	147.12	8.90	5.47	11.85	17.09	9.64	6.97	8.45	5.16	4.45	6.83	8.48
21	256.96	12.26	8.55	17.91	25.31	14.10	10.60	12.85	8.61	7.74	10.85	12.88
22	182.12	11.29	7.14	15.16	22.19	12.53	9.06	10.91	6.73	5.78	8.62	10.94
23	561.96	0.32	0.19	0.40	0.31	0.21	0.19	0.21	0.21	0.16	0.30	0.25

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9. Analisa Indeks Bahaya Erosi

Analisa Indeks Bahaya Erosi (IBE) dilakukan untuk mengetahui kelas bahaya erosi suatu lahan dengan mempertimbangkan laju erosi yang terjadi. Penentuan indeks bahaya erosi pada studi ini menggunakan metode Hammer (1981) sedangkan untuk penentuan nilai T berdasarkan Arsyad (1989).

Karakteristik tanah :

-) Tanah litosol : tanah yang tebalnya hanya 10 cm atau kurang, di bawahnya terdapat lapisan batuan yang padu. Harjowigeno (1987)
-) Tanah mediteran : tanah dengan horison argilik dan mempunyai kejenuhan basa 50% atau lebih. Tidak mempunyai epidon mollik. Harjowigeno (1987)
-) Tanah aluvial : tanah yang masih sangat muda yaitu baru tingkat permulaan dalam perkembangan. Tidak ada horison penciri lain kecuali epidon ochrik, albik atau histik (ENT – Recent = baru) (Harjowigeno, 1987). Permeabilitas umumnya lambat dan tanah peka terhadap erosi.
-) Tanah regosol : tanah yang berkembang dari bahan yang lepas-lepas (pasir). Hanya mempunyai epipedon okrik. (Rachman, 2005)

Tabel 4.43

Rekapitulasi Nilai T

No.	Jenis Tanah	Nilai T (ton/ha/th)
1	Litosol	1.12
2	Mediteran	11.21
3	Aluvial	8.96
4	Regosol	13.45

Sumber : Hasil Perhitungan

Contoh analisa Indeks Bahaya Erosi Sub DAS :

Sub DAS : 1
 Jenis tanah : Litosol
 Laju erosi : 0.983
 T : 1.12

$$\text{Indeks Bahaya Erosi} = \frac{\text{Erosi Potensial (ton / ha / th)}}{T \text{ (ton / ha / th)}}$$

$$= \frac{0.983}{1.12} = 0.88$$

Nilai Harkat : Rendah

Tabel 4.44

Nilai Indeks Bahaya Erosi Sub DAS

Subbasin	Luas (ha)	Jenis Tanah	Laju Erosi		IBE	Harkat
			(ton/ha/th)	(mm/th)		
1	938.72	Litosol	0.98	0.08	0.88	Rendah
2	127.92	Mediteran	6.00	0.50	0.54	Rendah
3	512.48	Litosol	7.93	0.66	7.08	Tinggi
4	439.60	Litosol	8.36	0.70	7.47	Tinggi
5	81.52	Mediteran	7.29	0.61	0.65	Rendah
6	76.68	Mediteran	7.07	0.59	0.63	Rendah
7	162.80	Mediteran	4.99	0.42	0.44	Rendah
8	45.68	Mediteran	47.45	3.95	4.23	Tinggi
9	453.16	Aluvial	50.28	4.19	5.61	Tinggi
10	513.12	Aluvial	207.43	17.29	23.15	Sangat Tinggi
11	41.36	Aluvial	203.85	16.99	22.75	Sangat Tinggi
12	223.68	Aluvial	168.71	14.06	18.83	Sangat Tinggi
13	98.00	Aluvial	108.14	9.01	12.07	Sangat Tinggi
14	210.40	Aluvial	133.98	11.16	14.95	Sangat Tinggi
15	489.84	Aluvial	77.32	6.44	8.63	Tinggi
16	657.40	Aluvial	84.85	7.07	9.47	Tinggi
17	173.52	Aluvial	38.27	3.19	4.27	Tinggi
18	47.88	Aluvial	9.13	0.76	1.02	Sedang
19	291.60	Aluvial	39.16	3.26	4.37	Tinggi
20	147.12	Aluvial	35.63	2.97	3.98	Sedang
21	256.96	Aluvial	36.58	3.05	4.08	Tinggi
22	182.12	Aluvial	37.02	3.08	4.13	Tinggi
23	561.96	Regosol	24.62	2.05	1.83	Sedang

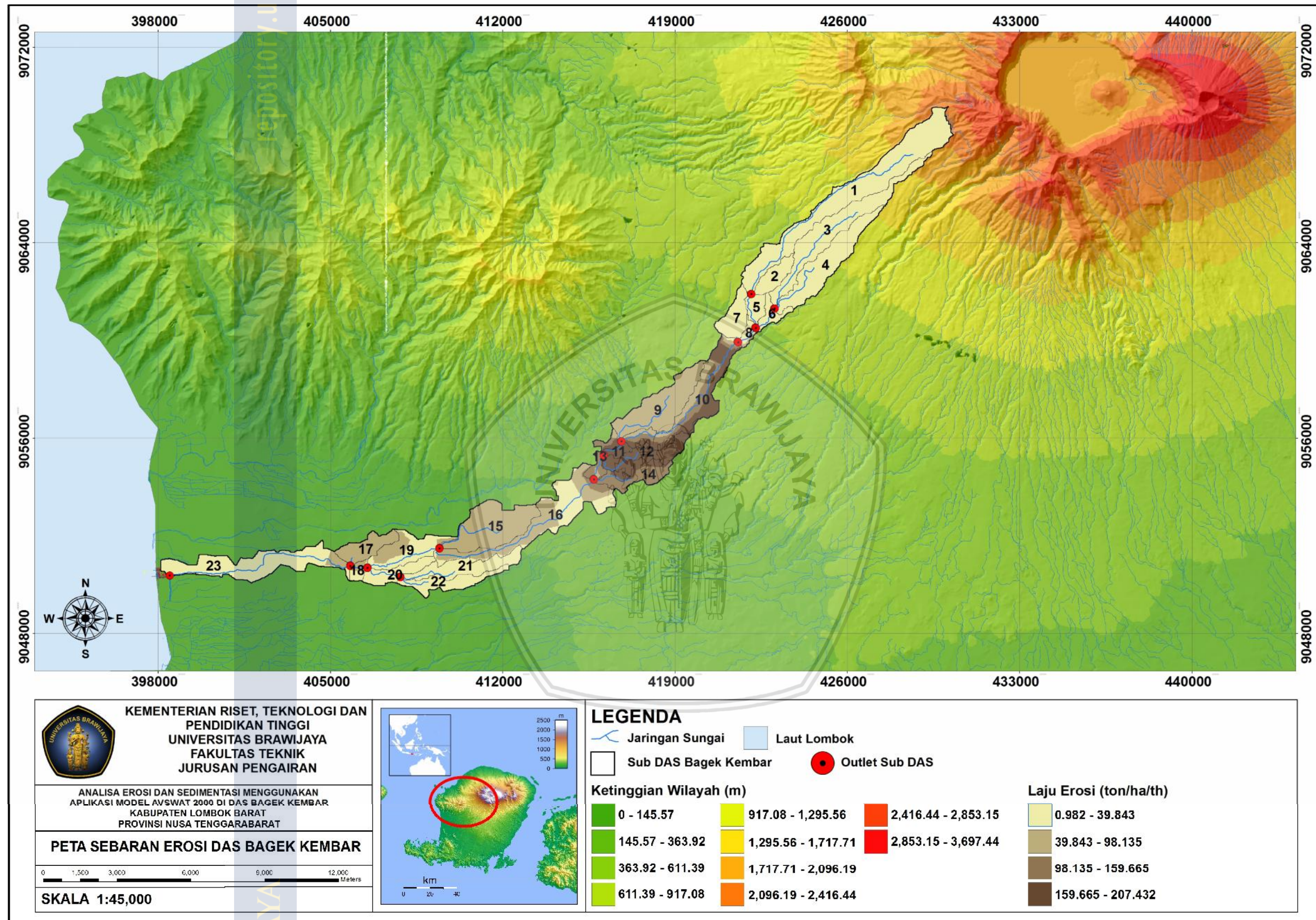
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.45

Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi Hasil Analisis Sub DAS

Indeks Bahaya Erosi (IBE)	Harkat	Luas (ha)	Presentase (%)
1,0	Rendah	1387.64	20.61
1,01 – 4,0	Sedang	756.96	11.24
4,01 – 10,0	Tinggi	3502.36	52.01
10,1	Sangat tinggi	1086.56	16.14
Jumlah		6733.52	100

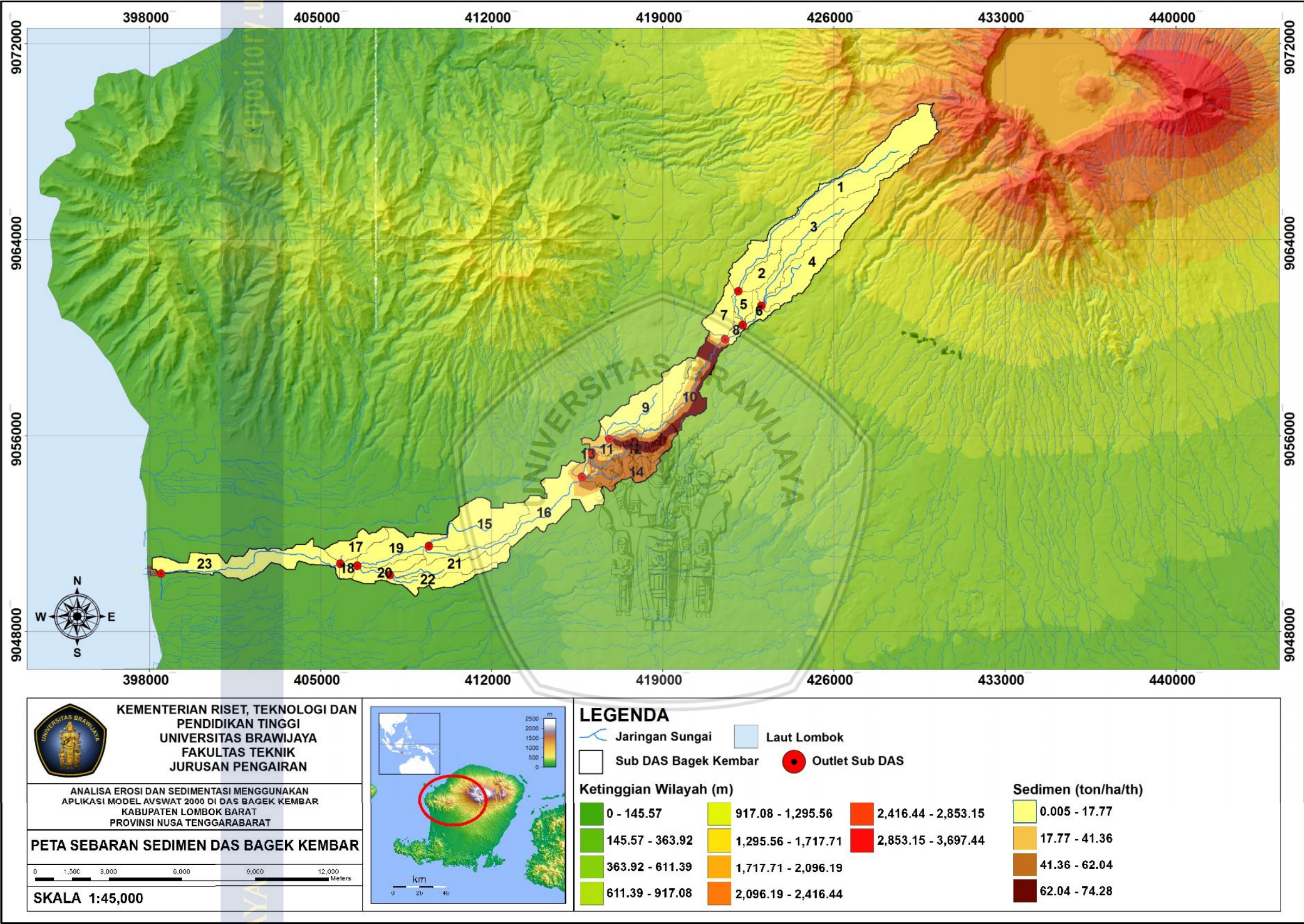
Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.26 Peta Sebaran Erosi dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009 DAS Bagek Kembar

Sumber : Hasil Perhitungan



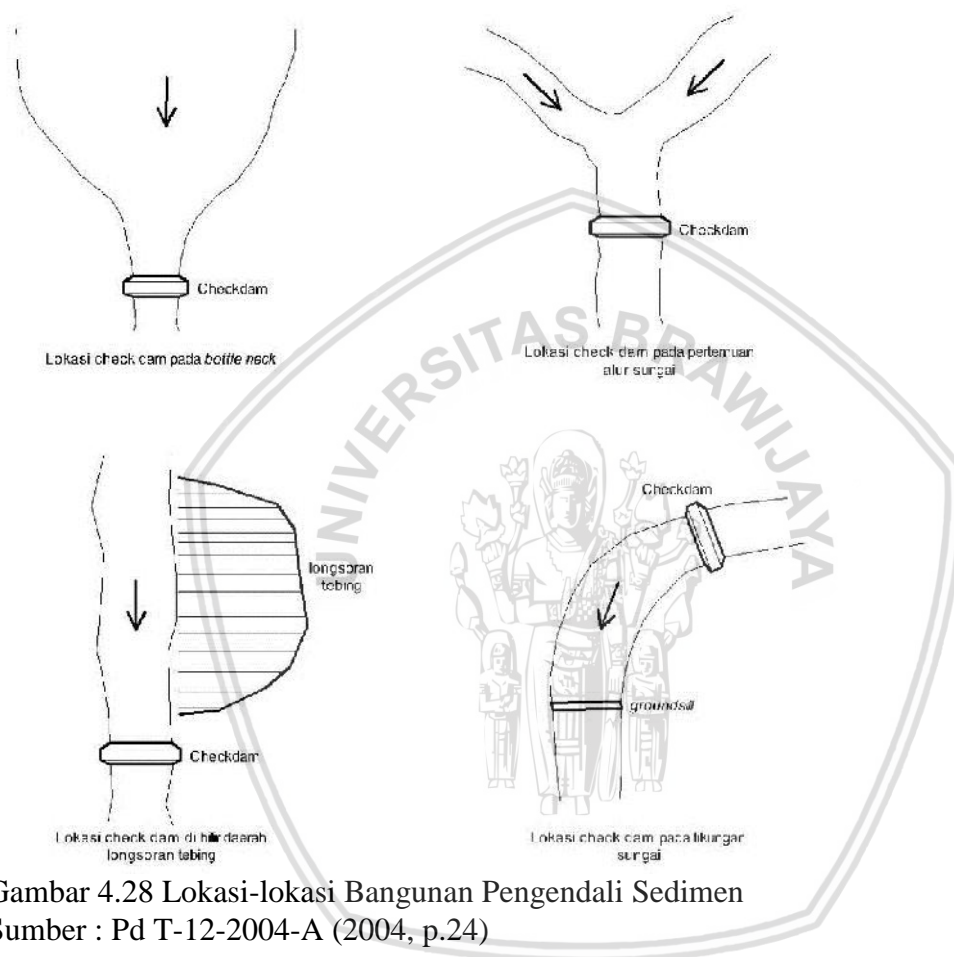


Gambar 4.27 Peta Sebaran Sedimen dengan Tata Guna Lahan Tahun 2009 DAS Bagek Kembar
Sumber : Hasil Perhitungan

4.10. Bangunan Pengendali Sedimen (*Check Dam*)

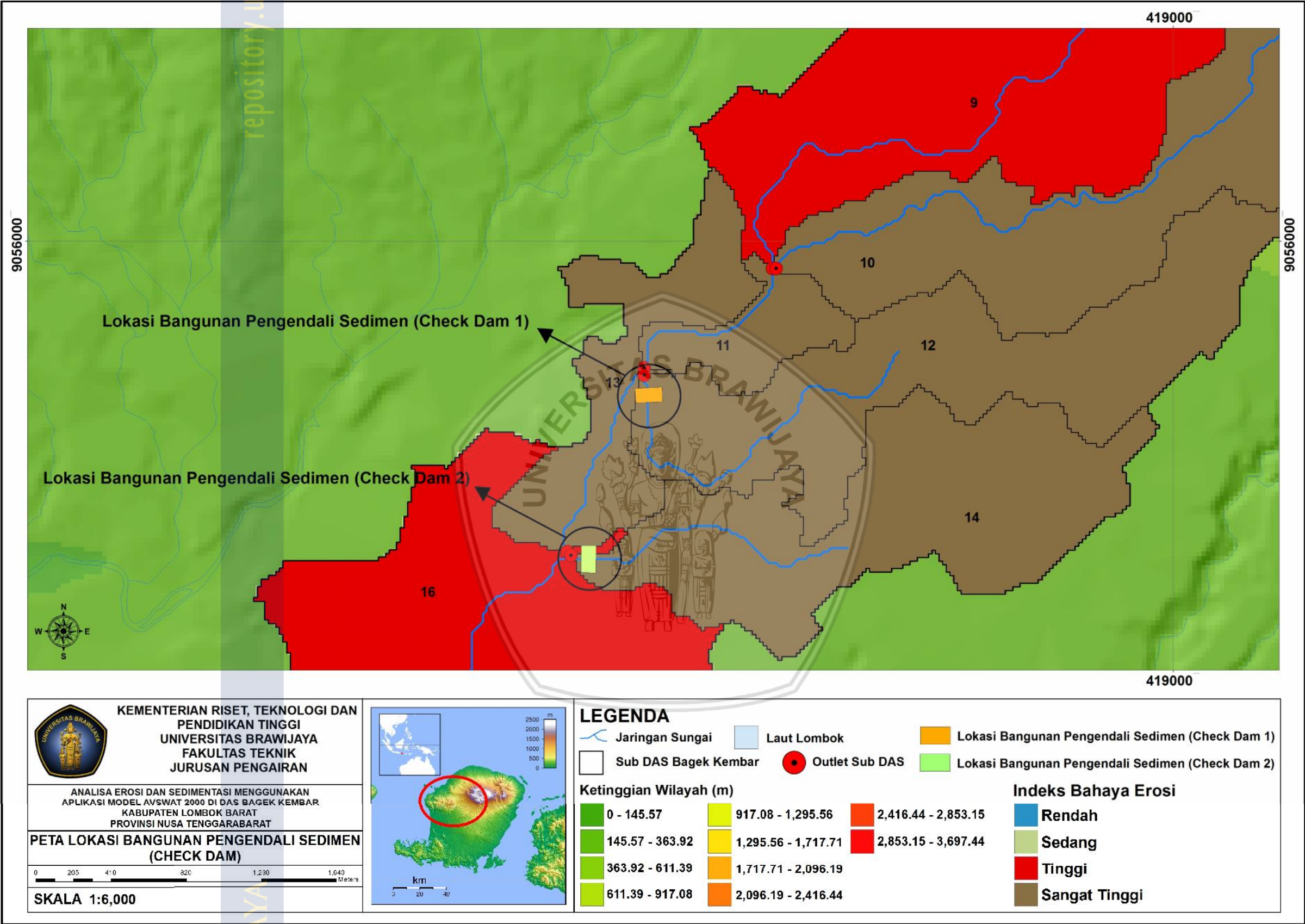
4.10.1. Letak Bangunan Pengendali Sedimen

Jumlah bangunan pengendali sedimen yang diusulkan adalah dua bangunan. Lokasi bangunan pengendali sedimen yang pertama (*check dam 1*) berada pada hilir subdas 12 dengan kategori nilai IBE sangat tinggi. Lokasi bangunan pengendali sedimen yang kedua (*check dam 2*) berada pada hilir subdas 14 dengan kategori nilai IBE sangat tinggi. Penentuan lokasi bangunan pengendali sedimen dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Lokasi-lokasi Bangunan Pengendali Sedimen

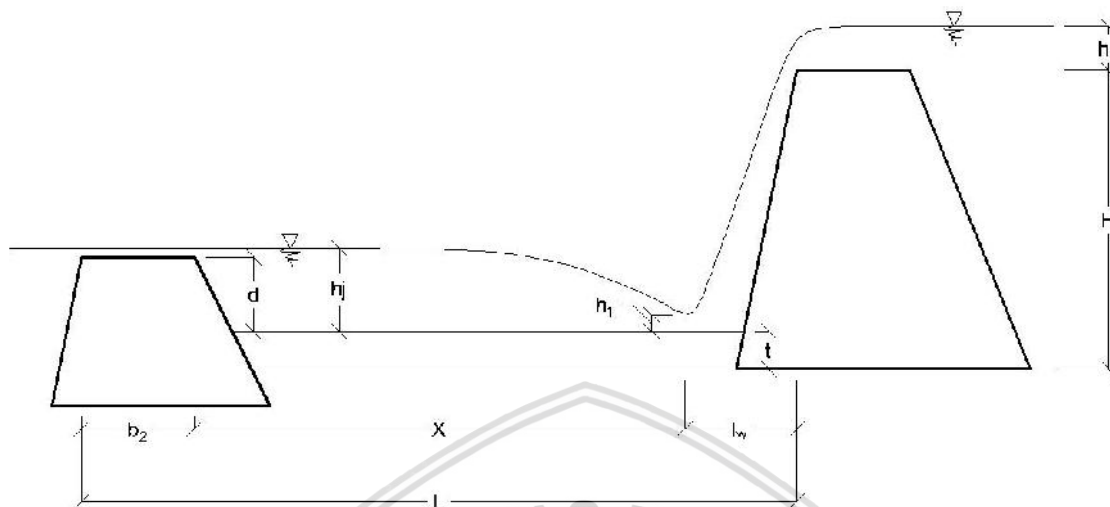
Sumber : Pd T-12-2004-A (2004, p.24)



Gambar 4.29 Peta Lokasi Bangunan Pengendali Sedimen DAS Bagek Kembar
Sumber : Hasil Perhitungan

4.10.2. Tipe dan Dimensi Bangunan Pengendali Sedimen

Tipe *check dam* yang dipakai dalam studi ini adalah tipe *check dam* Tertutup. *Check dam* tertutup sangat efektif untuk menahan, menampung dan mereduksi aliran sedimen.



Gambar 4.30 Potongan Memanjang Bangunan Check Dam
Sumber : Hasil Perhitungan

4.10.2.1. Perhitungan Dimensi Bangunan Pengendali Sedimen (*Check Dam 1*)

Perencanaan *check dam* dilakukan pada beberapa lokasi. Dalam mendesain konstruksi *check dam*, digunakan data sebagai berikut:

- Kemiringan dasar sungai, $I = 0,037$
- Lebar dasar peluap, $B_1 = 12 \text{ m}$
- Tinggi total bendung utama, $h = 4 \text{ m}$
- (Rasio konsentrasi sedimen) $= 0.1$ (sedimen biasa)
- Debit banjir, $Q_p = 8.35 \text{ m}^3/\text{dt}$

Debit desain dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$Q_{\text{desain}} = (1 +) \times Q_p = (1 + 0,1) \times 8.35 = 9.18 \text{ m}^3/\text{dt}$$

a. Perhitungan dimensi peluap

Perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_d \times \sqrt[2]{15AC} \sqrt{2g} \beta B_1 \Gamma 2B_2 A h_3^{3/2}$$

C = koefisien peluapan (0,6 – 0,66)

m = kemiringan tepi peluap

Jika $C = 0,60$ dan $m = 0,5$ maka rumus di atas menjadi :

$$Q_d \times 0.08 \mid 4.43 \mid \beta B_1 \Gamma 2B_2 A h_3^{3/2}$$

$$Q_d \times 0.08 \mid 4.43 \mid \beta B_1 \Gamma 2B_2 A h_3^{3/2}$$

$$Q_d \times 0.354 \sqrt{\beta B_1 \Gamma 2 B_2 A h_3^{3/2}}$$

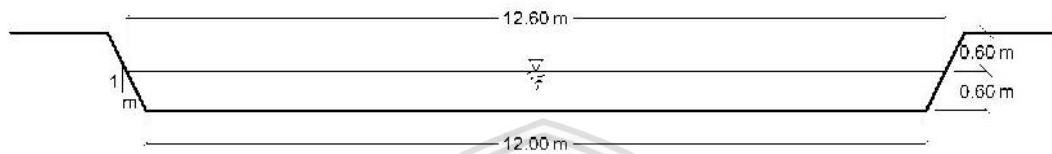
$$Q_d \times \sqrt{1.06 B_1 \Gamma 0.71 B_2 A h_3^{3/2}}$$

$$9.18 \times \sqrt{1.06 B_1 \Gamma 0.71 B_2 A h_3^{3/2}}$$

dengan cara coba-coba didapatkan nilai $h_3 = 0.565$ m, direncanakan $h_3 = 0.6$ m.

$$B_2 = B_1 + h_3 = 12 + 0.6 = 12.6 \text{ m}$$

Tinggi jagaan = 0.6 m (Tabel 2.14)



Gambar 4.31 Lebar Peluap Bangunan *Check Dam 1*

Sumber : Hasil Perhitungan

b. Perhitungan lebar mercu peluap

Apabila ditentukan dengan menggunakan rumus, lebar mercu ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$b \times \frac{Q}{A} \sqrt{\frac{1}{f_1 \Gamma \zeta_t / 2 A f_1 \Gamma 4 V^2 / 100 A}}$$

$$V \times \frac{Q}{A} \times 9.18 \sqrt{\frac{1}{f_1 \Gamma 12.6 A} \mid 0.5 \mid 0.6 \times 1.15 \text{ m/dt}}$$

$$b \times \frac{Q}{A} \sqrt{\frac{1}{f_1 \Gamma \zeta_t / 2 A f_1 \Gamma 4 V^2 / 100 A}}$$

$$b \times \frac{2}{0.8} \mid \frac{1.2}{2.4} \mid \sqrt{\frac{1}{f_1 \Gamma 0.1 / 2 A} \mid 1 \Gamma \frac{4 \mid 1.15^2}{100}}$$

$$b \times 0.86 \text{ m}$$

lebar mercu direncanakan, $b = 1.5$ m

c. Perhitungan kemiringan tubuh bendung utama

Dalam perhitungan untuk menentukan kemiringan bagian hulu bendung dipakai persamaan sebagai berikut:

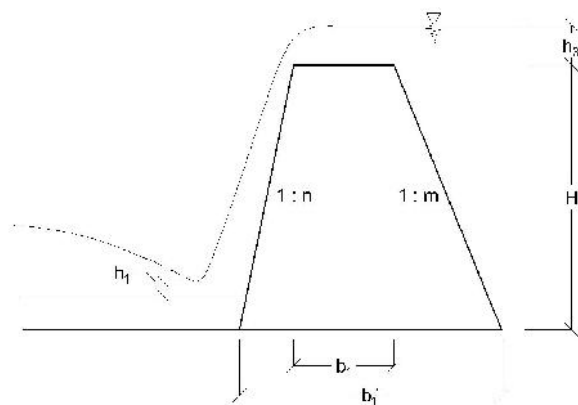
$$= h_3/H$$

$$= b_1/H$$

$$(1 + \dots) \cdot m^2 + \{2(n + \dots) + n \cdot (4 + \dots) + 2 \cdot \dots\} \cdot m - (1 + 3 \dots) + \dots (4n + \dots) + \dots$$

$$(3 \cdot n \cdot \dots + \dots^2 + n^2) = 0$$

$n = 0.2$ (supaya aliran tidak menyusur permukaan bendung bagian hilir/aman terhadap benturan batuan yang jatuh)



Gambar 4.32 Notasi Pada Bendung Utama (*Check Dam 1*)

Sumber : Hasil Perhitungan

$$= h_3/H = 0.6 / 4 = 0.15$$

$$= b_1/H = 1.5 / 4 = 0.375$$

$$\uparrow = \uparrow_c / \uparrow_w = 2400 / 1200 = 2$$

$$m = (-b \pm (b^2 - 4 \cdot a \cdot c)^{1/2}) / 2 \cdot a$$

$$a = (1 +) = 1 + 0.15 = 1.15$$

$$b = 2(n +) + n \cdot (4 + \uparrow) + 2 \cdot \\ = 2(0.2 + 0.375) + 0.2 \times (4 \times 0.15 + 2) + 2 \times 0.15 \times 0.375 \\ = 1.783$$

$$c = -(1 + 3) + \cdot (4n + \beta) + \uparrow \cdot (3 \cdot n \cdot + ^2 + n^2) \\ = -(1 + 3 \times 0.15) + 0.2 \times 0.375 \times (4 \times 0.2 + 0.375) + 2 \times (3 \times 0.2 \times 0.375 + 0.375^2 + 0.2^2) \\ = -0.573$$

$$m = (-b \pm (b^2 - 4 \cdot a \cdot c)^{1/2}) / 2 \cdot a \\ = 0.36$$

dipakai $m = 0.4$

d. Perhitungan tebal lantai kolam olak

Dalam perhitungan untuk menentukan tebal lantai kolam olak dipakai persamaan sebagai berikut:

$$t = (0.1 \sqrt{0.2}) (0.6 \times H_1 + 3 \times h_3 - 1)$$

koefisien $(0.1 \sqrt{0.2})$ apabila lantai kolam olak tanpa subdam koefisien yang dipakai 0.2; dan kalau kolam olak memakai subdam koefisien yang dipakai 0.1. Dalam perencanaan ini kolam olaknya memakai subdam, tebal lantai dihitung sebagai berikut:

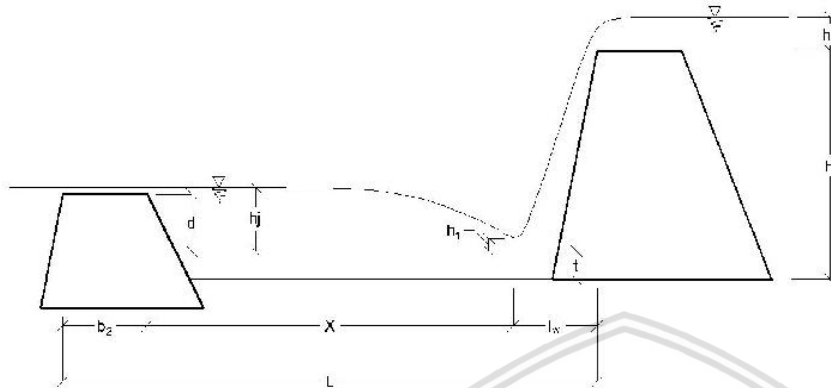
$$t = 0.1 \times (0.6 \times H_1 + 3 \times h_3 - 1)$$

$$t = 0.1 \times (0.6 \times (4) + 3 \times 0.6 - 1)$$

$$t = 0.302 \text{ m}$$

dipakai $t = 0.5 \text{ m}$

- e. Perhitungan jarak bendung utama dan subdam (panjang kolam olak)



Gambar 4.33 Notasi Pada Bendung Utama, Kolam Olak, Dan Subdam (*Check Dam 1*)

Sumber : Hasil Perhitungan

Dalam perhitungan untuk menentukan Jarak Bendung Utama dan Subdam dipakai persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rumus empiris } L = (1,5 \text{ s/d } 2,0) \times (H_1 + h_3)$$

Apabila tinggi bendung utama < 15 meter koefisien yang dipakai 2,0

$$L = (2.0) \times (4 + 0.6)$$

$$L = 9.2 \text{ m} \quad 9.5 \text{ m}$$

Rumus percobaan hidraulik

$$L = l_w + X + b_2$$

= Koefisien besarnya (4.5 - 5)

$$Q_{\text{desain}} = 9.18 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_m = \text{lebar rata-rata peluap, } B_m = (12 + 12.6) \times 1/2 = 12.3 \text{ m}$$

$$h_3 = 0.6 \text{ m}$$

$$H_1 = H = 4 \text{ m}$$

$$= 5$$

$$b_2 = 1.5 \text{ m}$$

$$q_0 = Q / B_m = 8.51 / 12.3 = 0.69 \text{ m}^3/\text{dt/m}'$$

$$V_0 = q_0 / h_3 = 0.692 / 0.6 = 1.15 \text{ m/det}$$

$$V_1 = \{ 2 \cdot g \cdot (H_1 + h_3) \}^{1/2} = \{ 2 \times 9.81 \times (4 + 0.6) \}^{1/2} = 9.5 \text{ m/dt}$$

$$q_1 = q_0 = 0.69 \text{ m}^3/\text{dt/m}'$$

$$h_1 = q_1 / V_1 = 0.692 / 8.404 = 0.07$$

$$F_{r1} = V_1 / \{ (g \cdot h_1)^{1/2} \} = 8.404 / \{ (9.81 \times 0.073)^{1/2} \} = 11.24$$

$$h_j = h_1 / 2 \times \{ (1 + 8 F_{r1})^{1/2} - 1 \} = 0.073 / 2 \times \{ (1 + 8 \times 11.238)^{1/2} - 1 \}$$

$$= 1.12 \text{ m}$$

$$l_w = V_0 \{ 2 (H_1 + \frac{1}{2} h_3) / g \}^{1/2}$$

$$= 1.153 \{ 2 (4 + \frac{1}{2} 0.6) / 9.81 \}^{1/2}$$

$$= 1.08 \text{ m}$$

$$X = x h_j = 5 \times 1.122 = 5.61 \text{ m}$$

$$L = l_w + X + b_2 = 0.946 + 5.242 + 1$$

$$= 8.19 \text{ m} \quad 8.5 \text{ m}$$

diambil panjang kolam olak, $L = 9.5 \text{ m}$

f. Perhitungan tinggi subdam

Dalam perhitungan untuk menentukan Tinggi subdam dipakai persamaan sebagai berikut:

Rumus percobaan hidraulik

$$d/h_1 = \{ [(1 + 2 F_{r1}^2) \times (1 + 8 \cdot F_{r1}^2)^{1/2} - 5 \cdot F_{r1}^2 - 1] / \{ (1 + 4 F_{r1}^2) - (1 + 8 \cdot F_{r1}^2)^{1/2} \} - 3/2 \cdot F_{r1}^{2/3}]$$

$$= \{ [(1 + 2 \times 11.238^2) \times (1 + 8 \times 11.238^2)^{1/2} - 5 \times 11.238^2 - 1] / \{ (1 + 4 \times 11.238^2) - (1 + 8 \times 11.238^2)^{1/2} \} - 3/2 \times 11.238^{2/3}]$$

$$d/h_1 = 15.92$$

$$d = 15.92 \times 0.073$$

$$= 1.15 \text{ m} \quad 1 \text{ m}$$

Rumus empiris

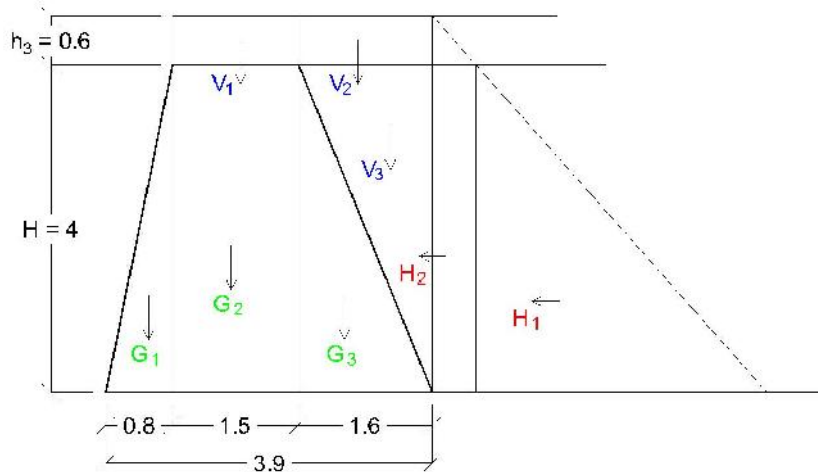
$$d \times \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4} | H$$

$$d \times \frac{1}{3} | H \times \frac{1}{3} | 4 \times 1.33 \text{ m}$$

$$d \times \frac{1}{4} | H \times \frac{1}{4} | 4 \times 1 \text{ m}$$

diambil tinggi subdam, $t = 1 \text{ m}$

g. Perhitungan stabilitas bendung



Gambar 4.34 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Tubuh Bendung (*Check Dam 1*)
Sumber : Hasil Perhitungan

Contoh perhitungan diketahui :

$$H = 4 \text{ m}$$

$$\uparrow_c = 2.4 \text{ ton/m}^3$$

$$\uparrow_w = 1.2 \text{ ton/m}^3$$

$$m = 0.4$$

$$m.H = 0.4 \times 4 = 1.6$$

$$n = 0.2$$

$$n.H = 0.2 \times 4 = 0.8$$

$$D = 3.9 \text{ m}$$

) Berat sendiri

$$G_1 = \frac{1}{2} \times 4 \times 0.8 \times 2.4 = 3.84 \text{ t}$$

$$G_2 = 4 \times 1.5 \times 2.4 = 14.4 \text{ t}$$

$$G_3 = \frac{1}{2} \times 4 \times 1.6 \times 2.4 = 7.68 \text{ t}$$

) Tekanan air statik vertikal

$$V_1 = 0.6 \times 1.5 \times 1.2 = 1.08 \text{ t}$$

$$V_2 = 0.6 \times 1.6 \times 1.2 = 1.15 \text{ t}$$

$$V_3 = \frac{1}{2} \times 4 \times 1.6 \times 1.2 = 3.84 \text{ t}$$

) Tekanan air statik horizontal

$$H_1 = 0.6 \times 4 \times 1.2 = 2.88 \text{ t}$$

$$H_2 = \frac{1}{2} \times 4^2 \times 1.2 = 9.60 \text{ t}$$

) Panjang lengan

$$G_1 = \quad \times 0.8 = 0.53 \text{ m}$$

$$G_2 = 0.8 + \frac{1}{2} \times 1.5 = 1.55 \text{ m}$$

$$G_3 = 0.8 + 1.5 + \frac{1}{2} \times 1.6 = 2.83 \text{ m}$$

$$V_1 = 0.8 + \frac{1}{2} \times 1.5 = 1.55 \text{ m}$$

$$V_2 = 0.8 + 1.5 + \frac{1}{2} \times 1.6 = 3.10 \text{ m}$$

$$V_3 = 0.8 + 1.5 + \frac{1}{2} \times 1.6 = 3.37 \text{ m}$$

$$H_1 = \frac{1}{2} \times 4 = 2.00 \text{ m}$$

$$H_2 = \frac{1}{2} \times 4 = 1.33 \text{ m}$$

Tabel 4.46

Perhitungan Momen *Check Dam 1*

Beban	Simbol	Gaya (t)	Lengan (m)	Momen (t × m)
Berat sendiri	G1	3.84	0.53	2.05
	G2	14.40	1.55	22.32
	G3	7.68	2.83	21.76
Tekanan air statik vertikal	V1	1.08	1.55	1.67
	V2	1.15	3.10	3.57
	V3	3.84	3.37	12.93
Total P _V dan M _V		31.99		64.30
Tekanan air statik horizontal	H1	2.88	2.00	5.76
	H2	9.60	1.33	12.80
Total P _H dan M _H		12.48		18.56

Sumber : Hasil Perhitungan

) Stabilitas terhadap guling

$$X = M / P_V = (M_V - M_H) / P_V = (64.301 - 18.56) / 31.992 = 1.43$$

$$D/3 = 3.4 / 3 = 1.30$$

$$2.D/3 = 2 \times 3 / 3 = 2.60 \rightarrow D/3 < X < 2.D/3 \rightarrow \text{Aman}$$

$$e = D/2 - X = 3.9 / 2 - 1.43 = 0.52$$

$$S_F = M_V / M_H = 64.30 / 18.56 = 3.46$$

$$S_F > 1.2 \rightarrow \text{Aman}$$

) Stabilitas terhadap geser

$$S_F = (f \times P_V + o \times 1) / P_H$$

$$f = 0.6$$

$$o = 0$$

$$S_F = (0.6 \times 31.99 + 0) / 12.48 = 1.53$$

$$S_F > 1.2 \rightarrow \text{Aman}$$

) Daya Dukung Tanah

$$= 30^\circ$$

$$C = 1.1 \text{ t/m}^2$$

$$b = 1.2 \text{ t/m}^2$$

$$D_f = 1 \text{ m}$$

$$B = 3.9 \text{ m}$$

$$L = 18 \text{ m}$$

$$S_f = 3$$

$$N_c = 37.2 ; N_q = 22.5 ; N_{\gamma} = 19.7$$

$$\begin{aligned} q_u &= cN_c (1+0.3B/L) + p_o N_q + 0.5 b N_{\gamma} (1-0.2B/L) \\ &= 1.1 \times 37.2 \times (1+0.3 \times 3.9/18) + 1.2 \times 22.5 \times 1 + 0.5 \times 1.2 \times 3.9 \times 19.7 \times (1-0.2 \times 3.9/18) \\ &= 114.68 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= q_{ult} / S_f \\ &= 114.68/3 \\ &= 38.23 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

J) Stabilitas terhadap daya dukung tanah pondasi

$$\begin{aligned} 1 &= (P_v / D) \times (1 + 6.e / D) \\ &= (31.99 / 3.9) \times (1 + 6 \times 0.52 / 3.9) \\ &= 14.76 \text{ t/m}^2 < 38.23 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman} \\ 2 &= (P_v / D) \times (1 - 6.e / D) \\ &= (31.99 / 3.9) \times (1 - 6 \times 0.52 / 3.9) \\ &= 1.63 \text{ t/m}^2 < 38.23 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman} \end{aligned}$$

4.10.2.2. Perhitungan Dimensi Bangunan Pengendali Sedimen (*Check Dam 2*)

Perencanaan check dam dilakukan pada beberapa lokasi. Dalam mendesain konstruksi check dam, digunakan data sebagai berikut:

$$\text{Kemiringan dasar sungai, } I = 0.021$$

$$\text{Lebar dasar peluap, } B_1 = 15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total bendung utama, } h = 4 \text{ m}$$

$$(\text{Rasio konsentrasi sedimen}) = 0.1 \text{ (sedimen biasa)}$$

$$\text{Debit banjir, } Q_p = 15.16 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Debit desain dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$Q_{\text{desain}} = (1 +) \times Q_p = (1 + 0,1) \times 15.16 = 16.68 \text{ m}^3/\text{dt}$$

a. Perhitungan dimensi peluap

Perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_d \times f^{2/15} A C \sqrt{2g} f \beta B_1 \Gamma 2 B_2 A h_3^{3/2}$$

C = koefisien peluapan (0,6 – 0,66)

m = kemiringan tepi peluap

Jika $C = 0,60$ dan $m = 0,5$ maka rumus di atas menjadi :

$$Q_d \times 0.08 \mid 4.43 \mid f \beta B_1 \Gamma 2 B_2 A h_3^{3/2}$$

$$Q_d \times 0.08 \mid 4.43 \mid f \beta B_1 \Gamma 2 B_2 A h_3^{3/2}$$

$$Q_d \times 0.354 \mid f \beta B_1 \Gamma 2 B_2 A h_3^{3/2}$$

$$Q_d \times f \mid 1.06 B_1 \Gamma 0.71 B_2 A h_3^{3/2}$$

$$16.68 \times f \mid 1.06 B_1 \Gamma 0.71 B_2 A h_3^{3/2}$$

dengan cara coba-coba didapatkan nilai $h_3 = 0.72$ m, direncanakan $h_3 = 0.8$ m.

$$B_2 = B_1 + h_3 = 15 + 0.8 = 15.8 \text{ m}$$

Tinggi jagaan = 0.6 m



Gambar 4.35 Lebar Peluap Bangunan *Check Dam 2*

Sumber : Hasil Perhitungan

b. Perhitungan lebar mercu peluap

Apabila ditentukan dengan menggunakan rumus, lebar mercu ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$b \times n / f \mid \uparrow_w / \uparrow_c \mid f \Gamma \zeta t / 2 A \mid f \Gamma 4 V^2 / 100 A$$

$$V \times Q / A \times 16.68 \mid 15 \Gamma 15.7 A \mid 0.5 \mid 0.8 \times 1.35 \text{ m/dt}$$

$$b \times n / f \mid \uparrow_w / \uparrow_c \mid f \Gamma \zeta t / 2 A \mid f \Gamma 4 V^2 / 100 A$$

$$b \times \frac{2}{0.8} \mid \frac{1.2}{2.4} \mid f \Gamma 0.1 / 2 A \mid 1 \Gamma \frac{4 \mid 1.35^2}{100}$$

$$b \times 1.140 \text{ m}$$

lebar mercu direncanakan, $b = 1.5$ m

c. Perhitungan kemiringan tubuh bendung utama

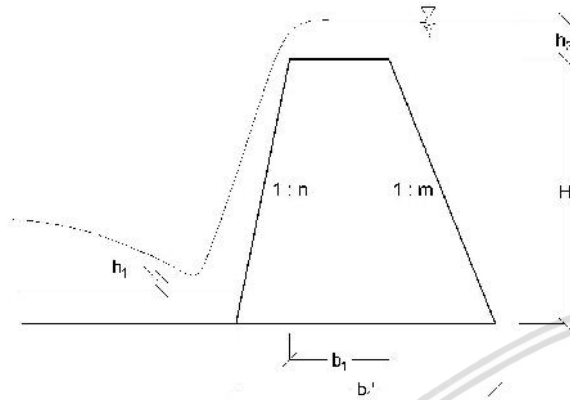
Dalam perhitungan untuk menentukan kemiringan bagian hulu bendung dipakai persamaan sebagai berikut:

$$= h_3 / H$$

$$= b_1 / H$$

$$(1 + \beta) \cdot m^2 + \{2(n + \beta) + n \cdot (4 + \uparrow) + 2 \cdot \beta \cdot \beta\} \cdot m - (1 + 3\beta) + \beta \cdot (4n + \beta) + \uparrow \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2) = 0$$

$n = 0.2$ (supaya aliran tidak menyusur permukaan bendung bagian hilir/aman terhadap benturan batuan yang jatuh)



Gambar 4.36 Notasi Pada Bendung Utama (*Check Dam 2*)

Sumber : Hasil Perhitungan

$$= h_3/H = 0.8 / 4 = 0.2$$

$$= b_1/H = 1.5 / 4 = 0.375$$

$$\uparrow = \uparrow_c / \uparrow_w = 2400 / 1200 = 2$$

$$m = (-b \pm (b^2 - 4 \cdot a \cdot c)^{1/2}) / 2 \cdot a$$

$$a = (1 + \beta) = 1 + 0.2 = 1.2$$

$$\begin{aligned} b &= 2(n + \beta) + n \cdot (4 + \uparrow) + 2 \cdot \beta \cdot \beta \\ &= 2(0.2 + 0.375) + 0.2 \times (4 \times 0.2 + 2) + 2 \times 0.2 \times 0.375 \\ &= 1.86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= -(1 + 3\beta) + \beta \cdot \beta \cdot (4n + \beta) + \uparrow \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2) \\ &= -(1 + 3 \times 0.2) + 0.2 \times 0.375 \times (4 \times 0.2 + 0.375) + 2 \times (3 \times 0.2 \times 0.375 + 0.375^2 + 0.2^2) \\ &= -0.70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= (-b \pm (b^2 - 4 \cdot a \cdot c)^{1/2}) / 2 \cdot a \\ &= 0.45 \end{aligned}$$

dipakai $m = 0.5$

d. Perhitungan tebal lantai kolam olak

Dalam perhitungan untuk menentukan tebal lantai kolam olak dipakai persamaan sebagai berikut:

$$t = (0.1 \sqrt{0.2}) (0.6 \times H_1 + 3 \times h_3 - 1)$$

koefisien (0.1 √ 0.2) apabila lantai kolam olak tanpa subdam koefisien yang dipakai 0.2; dan kalau kolam olak memakai subdam koefisien yang dipakai 0.1. Dalam perencanaan ini kolam olaknya memakai subdam, tebal lantai dihitung sebagai berikut:

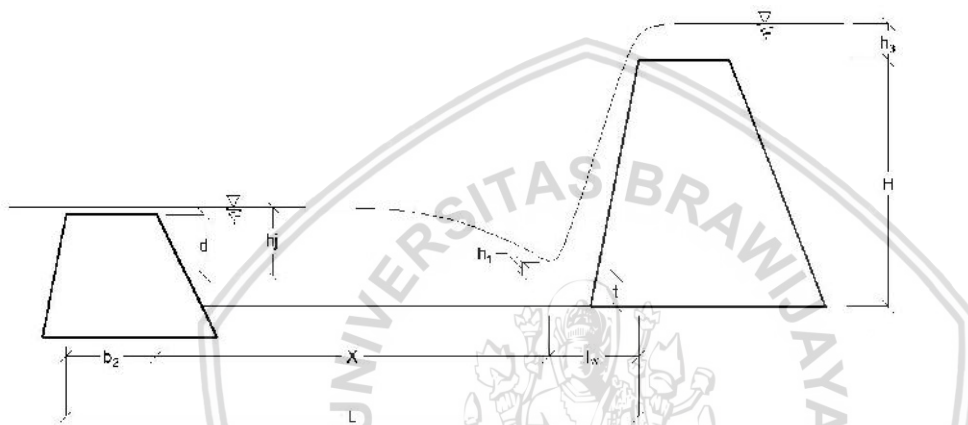
$$t = 0.1 \times (0.6 \times H_1 + 3 \times h_3 - 1)$$

$$t = 0.1 \times (0.6 \times (4) + 3 \times 0.8 - 1)$$

$$t = 0.36 \text{ m}$$

dipakai $t = 0.5 \text{ m}$

- e. Perhitungan jarak bendung utama dan subdam (panjang kolam olak)



Gambar 4.37 Notasi Pada Bendung Utama, Kolam Olak, Dan Subdam (*Check Dam 2*)
Sumber : Hasil Perhitungan

Dalam perhitungan untuk menentukan Jarak Bendung Utama dan Subdam dipakai persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rumus empiris } L = (1,5 \text{ s/d } 2,0) \times (H_1 + h_3)$$

Apabila tinggi bendung utama < 15 meter koefisien yang dipakai 2,0

$$L = (2.0) \times (4 + 0.8)$$

$$L = 9.6 \text{ m} \quad 10 \text{ m}$$

Rumus percobaan hidraulik

$$L > l_w + X + b_2$$

$$= \text{Koefisien besarnya (4.5 - 5)}$$

$$Q_{\text{desain}} = 16.68 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_m = \text{lebar rata-rata peluap, } B_m = (15 + 15.8) \times 1/2 = 15.4 \text{ m}$$

$$h_3 = 0.8 \text{ m}$$

$$H_1 = H = 4 \text{ m}$$

$$= 5$$

$$b_2 = 1 \text{ m}$$

$$q_0 = Q_d / B_m = 16.68 / 15.4 = 1.08 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}'$$

$$V_0 = q_0 / h_3 = 1.08 / 0.8 = 1.35 \text{ m}/\text{det}$$

$$V_1 = \{ 2 \cdot g \cdot (H_1 + h_3) \}^{1/2} = \{ 2 \times 9.81 \times (4 + 0.8) \}^{1/2} = 9.70 \text{ m}/\text{dt}$$

$$q_1 = q_0 = 1.08 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}'$$

$$h_1 = q_1 / V_1 = 1.08 / 9.70 = 0.11$$

$$F_{r1} = V_1 / \{ (g \cdot h_1)^{1/2} \} = 9.70 / \{ (9.81 \times 0.112)^{1/2} \} = 9.27$$

$$h_j = h_1 / 2 \times \{ (1 + 8 F_{r1})^{1/2} - 1 \} = 0.112 / 2 \times \{ (1 + 8 \times 9.27)^{1/2} - 1 \} \\ = 1.40 \text{ m}$$

$$l_w = V_0 \{ 2 (H_1 + \frac{1}{2} h_3) / g \}^{1/2} \\ = 1.35 \{ 2 (4 + \frac{1}{2} 0.8) / 9.81 \}^{1/2} \\ = 1.28 \text{ m}$$

$$X = x_{hj} = 5 \times 1.40 = 7.04 \text{ m}$$

$$L = l_w + X + b_2 = 1.28 + 7.04 + 1 \\ = 9.32 \text{ m} \quad 10 \text{ m}$$

diambil panjang kolam olak, $L = 10 \text{ m}$

f. Perhitungan tinggi subdam

Dalam perhitungan untuk menentukan Tinggi subdam dipakai persamaan sebagai berikut:

Rumus percobaan hidraulik

$$d/h_1 = \{ [(1 + 2 F_{r1}^2) \times (1 + 8 \cdot F_{r1}^2)^{1/2} - 5 \cdot F_{r1}^2 - 1] / \{ (1 + 4 F_{r1}^2) - (1 + 8 \cdot F_{r1}^2)^{1/2} \} - 3/2 \cdot F_{r1}^{2/3}] \\ = [(1 + 2 \times 9.27^2) \times (1 + 8 \times 9.27^2)^{1/2} - 5 \times 9.27^2 - 1] / \{ (1 + 4 \times 9.27^2) - (1 + 8 \times 9.27^2)^{1/2} \} - 3/2 \times 9.27^{2/3}]$$

$$d/h_1 = 13.17$$

$$d = 13.17 \times 0.11 \\ = 1.4 \text{ m}$$

Rumus empiris

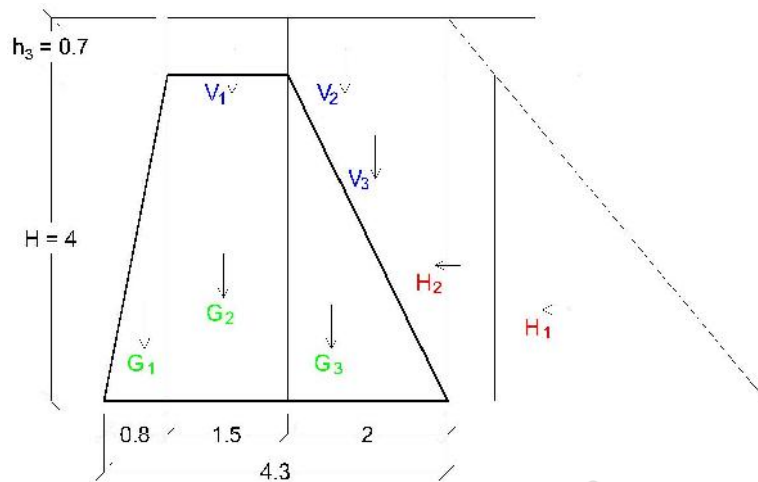
$$d \times \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4} \mid H$$

$$d \times \frac{1}{3} \mid H \times \frac{1}{3} \mid 4 \times 1.33 \text{ m}$$

$$d \times \frac{1}{4} \mid H \times \frac{1}{4} \mid 4 \times 1 \text{ m}$$

diambil tinggi subdam, $t = 1 \text{ m}$

g. Perhitungan stabilitas bendung



Gambar 4.38 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Tubuh Bendung (*Check Dam 2*)
Sumber : Hasil Perhitungan

Contoh perhitungan diketahui :

$$H = 4 \text{ m}$$

$$\uparrow_c = 2.4 \text{ ton/m}^3$$

$$\uparrow_w = 1.2 \text{ ton/m}^3$$

$$m = 0.5$$

$$m.H = 0.5 \times 4 = 2$$

$$n = 0.2$$

$$n.H = 0.2 \times 4 = 0.8$$

$$D = 3.9 \text{ m}$$

) Berat sendiri

$$G_1 = \frac{1}{2} \times 4 \times 0.8 \times 2.4 = 3.84 \text{ t}$$

$$G_2 = 4 \times 1.5 \times 2.4 = 14.4 \text{ t}$$

$$G_3 = \frac{1}{2} \times 4 \times 2 \times 2.4 = 7.68 \text{ t}$$

) Tekanan air statik vertikal

$$V_1 = 0.8 \times 1.5 \times 1.2 = 1.44 \text{ t}$$

$$V_2 = 0.8 \times 2 \times 1.2 = 1.92 \text{ t}$$

$$V_3 = \frac{1}{2} \times 4 \times 2 \times 1.2 = 4.80 \text{ t}$$

) Tekanan air statik horizontal

$$H_1 = 0.8 \times 4 \times 1.2 = 3.84 \text{ t}$$

$$H_2 = \frac{1}{2} \times 4^2 \times 1.2 = 9.60 \text{ t}$$

) Panjang lengan

$$G_1 = \quad \times 0.8 = 0.53 \text{ m}$$

$$G_2 = 0.8 + \frac{1}{2} \times 1.5 = 1.55 \text{ m}$$

$$G_3 = 0.8 + 1.5 + \times 2 = 3.00 \text{ m}$$

$$V_1 = 0.8 + \frac{1}{2} \times 1.5 = 1.93 \text{ m}$$

$$V_2 = 0.8 + 1.5 + \frac{1}{2} \times 2 = 3.30 \text{ m}$$

$$V_3 = 0.8 + 1.5 + \times 2 = 3.63 \text{ m}$$

$$H_1 = \frac{1}{2} \times 4 = 2.00 \text{ m}$$

$$H_2 = \times 4 = 1.33 \text{ m}$$

Tabel 4.47

Perhitungan Momen *Check Dam 2*

Beban	Simbol	Gaya (t)	Lengan (m)	Momen (t × m)
Berat sendiri	G1	3.84	0.53	2.05
	G2	14.40	1.55	22.32
	G3	9.60	2.97	28.48
Tekanan air statik vertikal	V1	1.44	1.55	2.23
	V2	1.92	3.30	6.34
	V3	4.80	3.63	17.44
Total P _V dan M _V		36.00		78.86
Tekanan air statik horizontal	H1	3.84	2.00	7.68
	H2	9.60	1.33	12.80
Total P _H dan M _H		13.44		20.48

Sumber : Hasil Perhitungan

) Stabilitas terhadap guling

$$X = M / P_V = (M_V - M_H) / P_V = (65.17 - 19.5) / 32.36 = 1.62$$

$$D/3 = 3.4 / 3 = 1.43$$

$$2.D/3 = 2 \times 3 / 3 = 2.87$$

$$D/3 < X < 2.D/3 \rightarrow \text{Aman}$$

$$e = D/2 - X = 4.3 / 2 - 1.62 = 0.52$$

$$S_F = M_V / M_H = 78.85 / 20.48 = 3.85$$

$$S_F > 1.2 \rightarrow \text{Aman}$$

) Stabilitas terhadap geser

$$S_F = (f \times P_V + 0 \times 1) / P_H$$

$$f = 0.6$$

$$0 = 0$$

$$S_F = (0.6 \times 36.00 + 0) / 13.44 = 1.61$$

$$S_F > 1.2 \rightarrow \text{Aman}$$

) Daya Dukung Tanah

$$= 30^\circ$$

$$C = 1.1 \text{ t/m}^2$$

$$b = 1.2 \text{ t/m}^2$$

$$D_f = 1 \text{ m}$$

$$B = 4.3 \text{ m}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

$$S_f = 3$$

$$N_c = 37.2 ; N_q = 22.5 ; N = 19.7 \text{ (Tabel 2.)}$$

$$\begin{aligned} q_u &= cN_c (1+0.3B/L) + p_o N_q + 0.5 b N (1-0.2B/L) \\ &= 1.1 \times 37.2 \times (1+0.3 \times 4.3/20) + 1.2 \times 22.5 \times 1 + 0.5 \times 1.2 \times 4.3 \times 19.7 \times (1-0.2 \times 4.3/20) \\ &= 119.20 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= q_{ult} / S_f \\ &= 114.02/3 \\ &= 39.73 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

) Stabilitas terhadap daya dukung tanah pondasi

$$\begin{aligned} 1 &= (P_v / D) \times (1 + 6.e / D) \\ &= (36.00 / 4.3) \times (1 + 6 \times 0.52 / 4.3) \\ &= 14.545 \text{ t/m}^2 < 39.73 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman} \\ 2 &= (P_v / D) \times (1 - 6.e / D) \\ &= (36.00 / 4.3) \times (1 - 6 \times 0.52 / 4.3) \\ &= 2.199 \text{ t/m}^2 < 39.73 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman} \end{aligned}$$

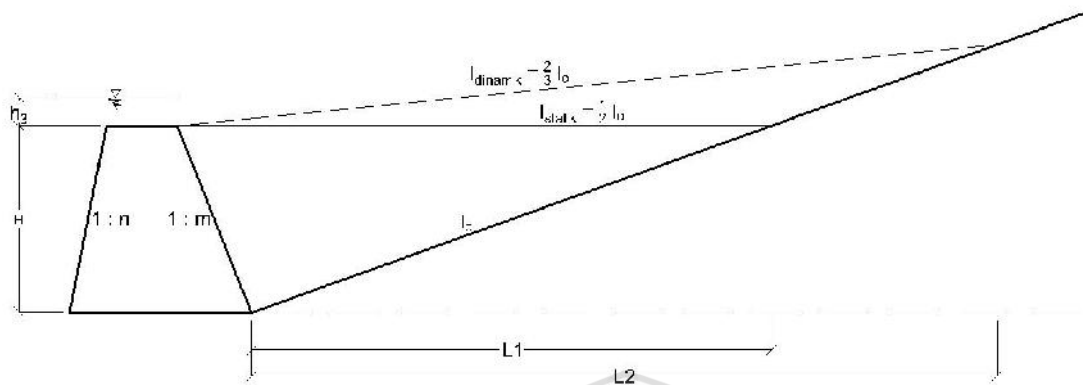
Tabel 4.48 Rekapitulasi Dimensi Check Dam

Check Dam	Simbol	Keterangan Simbol	Nilai (m)
Check Dam 1	H	Tinggi bendung utama	4
	h_3	Tinggi air di atas pelimpah	0.6
	B	Lebar bendung utama	12
	b	Lebar mercu peluap	1.5
	n	Kemiringan bendung di hilir	0.2
	m	Kemiringan bendung di hulu	0.4
	t	Tebal lantai apron	0.5
	L	Panjang lantai apron	9.5
	d	Tinggi sub dam	1
Check Dam 2	H	Tinggi bendung utama	4
	h	Tinggi air di atas pelimpah	0.8
	B	Lebar bendung utama	15
	b	Lebar mercu peluap	1.5
	n	Kemiringan bendung di hilir	0.2
	m	Kemiringan bendung di hulu	0.5
	t	Tebal lantai apron	0.5
	L	Panjang lantai apron	10
	d	Tinggi sub dam	1

Sumber : Hasil Perhitungan

4.10.3. Volume Tampungan Bangunan Pengendali Sedimen

Estimasi tampungan check dam tipe tertutup dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :



Gambar 4.39 Tampungan Sedimen Pada Check Dam

Sumber : Hasil Perhitungan

Check dam 1 :

$$H = 4 ; \quad I_o = 0.037$$

$I_{\text{statik}} = 1/2 \cdot I_o = 0.019$, kemiringan statik terjadi setelah dibangun bendung pengendali dasar sungai.

$I_{\text{dinamik}} = 2/3 \cdot I_o = 0.025$, kemiringan dinamik akan terbentuk setelah terjadi banjir.

$$L_1 = \frac{H}{I_o \cdot Z I_{\text{statik}}} = \frac{4}{0.037 \cdot 2 \cdot 0.019} = 216.22 \text{ m}$$

$$V_s = \frac{H \cdot B \cdot L_1}{2} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 216.22}{2} = 5189.19 \text{ m}^3$$

$$L_2 = \frac{H}{I_o \cdot Z I_{\text{dinamik}}} = \frac{4}{0.037 \cdot 2 \cdot 0.025} = 324.32 \text{ m}$$

$$V_{\text{tot}} = \frac{H \cdot B \cdot L_2}{2} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 324.32}{2} = 7783.78 \text{ m}^3$$

Hasil perhitungan diperoleh volume tampungan check dam 1 sebesar 7783.78 m³

Check dam 2 :

$$H = 4 ; \quad I_o = 0.021$$

$I_{\text{statik}} = 1/2 \cdot I_o = 0.011$, kemiringan statik terjadi setelah dibangun bendung pengendali dasar sungai.

$I_{\text{dinamik}} = 2/3 \cdot I_o = 0.014$, kemiringan dinamik akan terbentuk setelah terjadi banjir.

$$L_1 = \frac{H}{I_o \cdot Z I_{\text{statik}}} = \frac{4}{0.021 \cdot 2 \cdot 0.011} = 380.95 \text{ m}$$

$$V_s = \frac{H | B | L_1}{2} = \frac{4 | 15 | 380.95}{2} = 11428.57 \text{ m}^3$$

$$L_2 = \frac{H}{I_o Z I_{dinamik}} = \frac{4}{0.021 Z 0.014} = 571.43 \text{ m}$$

$$V_{tot} = \frac{H | B | L_2}{2} = \frac{4 | 15 | 571.43}{2} = 17142.86 \text{ m}^3$$

Hasil perhitungan diperoleh volume tampungan check dam 2 sebesar 17142.86 m³.

Tabel 4.49

Hasil Volume Sedimen Subdas 12

Subdas	Tahun	Volume Sedimen (ton)
12	2000	6745.00
12	2001	5528.00
12	2002	234.90
12	2003	3721.00
12	2004	19980.00
12	2005	32780.00
12	2006	10800.00
12	2007	9631.00
12	2008	12950.00
12	2009	10390.00
Rerata		11280.00

Sumber : Hasil Perhitungan

$$s = 1800 \text{ kg/m}^3 = 1.8 \text{ t/m}^3 \text{ (Sumber : Beasley dan Hunggins, 1982)}$$

Volume sedimen subdas 12 adalah sebesar 11280.00/1.2 = 6266.67 m³

Tabel 4.50

Hasil Volume Sedimen Subdas 14

Subdas	Tahun	Volume Sedimen (ton)
14	2000	7216.00
14	2001	6160.00
14	2002	274.60
14	2003	4194.00
14	2004	22660.00
14	2005	37500.00
14	2006	12010.00
14	2007	10800.00
14	2008	14470.00
14	2009	11560.00
Rerata		12680.00

$$s = 1800 \text{ kg/m}^3 = 1.8 \text{ t/m}^3 \text{ (Sumber : Beasley dan Hunggins, 1982)}$$

Volume sedimen subdas 12 adalah sebesar 12680.00/1.2 = 7044.44 m³

Jadi, Volume tampungan check dam 1 adalah sebesar 7783.78 m³ diharapkan dapat mengontrol potensi volume sedimentasi normal sebesar 6266.67 m³, maka efektifitas check dam 1 sama dengan $(7783.78/6266.67) \times 100 = 124\%$. Sedangkan volume tampungan check dam 2 adalah sebesar 17142.86 m³ diharapkan dapat mengontrol potensi volume sedimentasi normal sebesar 7044.44 m³, maka efektifitas check dam 2 sama dengan $(17142.86/7044.44) \times 100 = 243\%$.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa erosi dan sedimentasi menggunakan AVSWAT 200 di DAS Bagek Kembar, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2009 nilai laju erosi rata-rata pada DAS Bagek Kembar adalah sebesar 58.48 ton/ha/th dan hasil sedimen rata-rata sebesar 14.96 ton/ha/th atau 1.25 mm/th.
2. Jumlah bangunan pengendali sedimen yang diusulkan adalah dua bangunan. Lokasi bangunan pengendali sedimen yang pertama (check dam 1) berada pada hilir subdas 12 dengan nilai IBE sangat tinggi sebesar 18.83. Lokasi bangunan pengendali sedimen yang kedua (check dam 2) berada pada hilir subdas 14 dengan nilai IBE sangat tinggi sebesar 14.95.

Rekapitulasi dimensi check dam

a. Check dam 1

-) Tinggi bendung utama (H) = 4 m
-) Tinggi air di atas pelimpah (h_3) = 0.6 m
-) Lebar bendung utama (B) = 12 m
-) Lebar mercu peluap (b) = 1.5 m
-) Kemiringan bendung di hilir (n) = 0.2
-) Kemiringan bendung di hulu (m) = 0.4
-) Tebal lantai apron (t) = 0.5 m
-) Panjang lantai apron (L) = 9.5 m
-) Tinggi subdam (d) = 1 m

b. Check dam 2

-) Tinggi bendung utama (H) = 4 m
-) Tinggi air di atas pelimpah (h_3) = 0.7 m
-) Lebar bendung utama (B) = 15 m
-) Lebar mercu peluap (b) = 1.5 m

-) Kemiringan bendung di hilir (n) = 0.2
-) Kemiringan bendung di hulu (m) = 0.4
-) Tebal lantai apron (t) = 0.5 m
-) Panjang lantai apron (L) = 10 m
-) Tinggi subdam (d) = 1 m

Volume tampungan check dam 1 adalah sebesar 7783.78 m³ diharapkan dapat mengontrol laju sedimentasi sebesar 124% dari potensi laju sedimentasi normal. Sedangkan volume tampungan check dam 2 adalah sebesar 17142.86 m³ diharapkan dapat mengontrol laju sedimentasi sebesar 243% dari potensi laju sedimentasi normal.

5.2. Saran

Adapun saran yang diberikan setelah analisa mengenai erosi dan sedimentasi, antara lain:

1. Studi analisa ini masih memiliki kekurangan dikarenakan data serta kelengkapan data penunjang keakuratan dengan lapangan masih terbatas. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat antara hasil model AVSWAT 2000 dengan kondisi lapangan, maka perlu dipasang alat AWLR dan pengambilan contoh sedimen dimana hal itu akan mendukung dilakukannya studi dengan hasil yang mendekati kenyataan.
2. Studi analisa ini memiliki data hujan yang sangat terbatas. Data hujan yang dipakai dalam studi ini adalah data hujan harian. Untuk mendapatkan data hujan harian, perlu adanya biaya yang dikeluarkan untuk mendapatkan data hujan yang diinginkan.
3. Pembangunan check dam merupakan langkah yang optimal dalam penanggulangan erosi dan sedimentasi di DAS Bagek Kembar.
4. Melakukan pemeliharaan seperti pengerukan sedimen pada check dam apabila tampungan sudah penuh adalah langkah untuk menjaga check dam tetap terjaga.
5. Konservasi lahan merupakan langkah jangka panjang yang efektif dalam penanggulangan masalah erosi dan sedimentasi DAS Bagek Kembar, akan tetapi membutuhkan waktu yang cukup lama. Selain itu, perlu adanya penyuluhan kepada warga akan pentingnya konservasi lahan.

Saran terkait *Software* AVSWAT 2000 untuk mempermudah pengguna dalam melakukan pemodelan fenomena-fenomena yang terjadi pada suatu DAS, berikut ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan program AVSWAT 2000 agar tidak terjadi masalah dalam aplikasinya. Hal-hal itu adalah:

1. Proses pembuatan peta digital harus diusahakan seteliti mungkin, karena semakin teliti maka akan semakin baik hasil analisa program.
2. Penyimpanan file-file *input* data AVSWAT 2000 ini sebaiknya diorganisir dengan baik agar tidak membingungkan saat diperlukan.
3. Susunan input data AVSWAT 2000 dalam suatu file *input* data dalam format (*.dbf) harus benar sesuai dengan format susunan yang diminta program, apabila tidak sesuai maka program tidak akan mengenali data yang dimasukkan dan mengakibatkan program tidak berjalan dengan semestinya.
4. Kesabaran dan ketelitian sangatlah diperlukan dalam menjalankan program AVSWAT 2000 ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB. Bogor.
- Asdak, Cay. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Beasley, D. B. dan L. F. Huggins. 1982. *ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Simulation) – User's Manual*. Department of Agricultural Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Hardjowigeno, Sarwono. 1987. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Mediatama Sarana Perkasa.
- Harto, Sri. 1993. *Analisa Hidrologi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Istianto, Haryo. 2009. *Aplikasi Model SWAT untuk pendugaan Erosi dan Sedimentasi Di DAS Clungup Kabupaten Malang*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya.
- M. Di Luzio, R. Srinivasan, J. G. Arnold, S. L. Neitsch. 2002. *Arc View Interface for SWAT 2000 : User's Guide*. Grassland, Soil, and Water Research Laboratory. USDA Agricultural Research Service. Temple, Texas. Blackland Research and Extension Center. Texas Agricultural Experiment Station. Temple, Texas. Published 2002 by Texas Water Resources Institute, Collage Station, Texas.
ftp.bcr.tamus.edu/pub/swat
<http://www.bcr.tamus.edu/swat/>
- M. Di Luzio, R. Srinivasan, J. G. Arnold, S. L. Neitsch. 2002. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation 2000*. Research and Extension Center. Texas Agricultural Experiment Station.
- Montarcih, L dan Widandi Soetopo. 2013. *Statistika Terapan*. Malang: Citra Malang.
- Pd.T-12-2004-A, Perencanaan Teknis Bendung Pengendali Dasar Sungai.
- Prastuti, M.P. *Studi Rencana Konservasi Tanah Desa (RKTD) di Kecamatan Kare Kabupaten Madiun Menggunakan AVSWAT 2000*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya.
- SNI 03-2951-1991, Tata Cara Perencanaan Teknis Bendung Penahan Sedimen.
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi : Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid II*. Bandung: Nova.

- Subarkah, Imam. 1980. *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma
- Suhartanto, Ery. 2008. *Panduan AVSWAT 2000 dan Aplikasinya di Bidang Teknik Sumber Daya Air*. Malang: CV. Asrori Malang.
- Sutanto Rachman. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah Konsep dan Kenyataan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B. Peck. 1993. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga
- Utomo, Wani Hadi. 1994. *Erosi dan Konservasi Tanah*. Malang: IKIP Malang.
- Yuanita, Mike. 2009. *Aplikasi Model AVSWAT 2000 untuk Memprediksi Erosi, Sedimen, dan Limpasan Di DAS Sampean*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya.

